

Consistência das variáveis biomecânicas e coordenativas entre ciclos na técnica de crol

Dissertação apresentada com vista à obtenção do 2º ciclo em Treino Desportivo, especialização em Treino de Alto Rendimento, da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, ao abrigo do Decreto-Lei nº 74/2006, de 24 de março, na redação dada pelo Decreto-Lei nº 65/2018 de 16 de agosto.

Orientador: Professor Doutor Ricardo Fernandes

Coorientador: Professor Doutor Bruno Mezêncio

Aléxia Alves Fernandes

Porto, 2019



Fernandes, A. (2019). Consistência das variáveis biomecânicas e coordenativas entre ciclos na técnica de crol. Dissertação de 2º ciclo em Treino Desportivo, especialização em Alto Rendimento. Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

Palavras-Chave: NATAÇÃO, TÉCNICA DE CROL, VELOCIDADE, CICLO TÍPICO, VARIABILIDADE

"If you want to go fast, go alone. If you want to go far, go together"
(provérbio africano)

Agradecimentos

Porque o meu primeiro trabalho desta dimensão não seria possível sem o papel de determinadas pessoas que me ajudaram e estiveram para mim em todos os momentos. Com poucas palavras, mas uma imensa gratidão.

- Ao Prof. Dr. Ricardo Fernandes, que me vem orientando ao longo do meu percurso académico, que aceitou ser meu orientador neste trabalho, que não nega um pedido de ajuda e que almeja a excelência a cada dia, expresso o meu profundo agradecimento por todo o profissionalismo, competência, exigência e apoio incondicionais que me fazem, à sua semelhança, querer saber mais e ser melhor;

- Ao Prof. Dr. João Paulo Vilas-Boas, agradeço por toda a inspiração que me transmite, pelas discussões de ideias, pela disponibilidade com que me recebe e pela sabedoria com que presenteia qualquer um ao seu redor;

- Ao Prof. Dr. Bruno Mezêncio por ter aceite ser meu coorientador, por me ter ajudado a realizar um trabalho que seria impossível sem a sua presença, por todo o conhecimento transmitido e pela amizade;

- À Prof. Dra. Susana Soares pelo seu profissionalismo, disponibilidade e amizade;

- Agradeço aos nadadores que constituem a amostra desta dissertação (e seus treinadores e clubes), bem como a todos os colaboradores que participaram nas avaliações pela disponibilidade e compromisso;

- Aos meus colegas de trabalho e amigos Diogo Carvalho, Sofia Monteiro, Filipa Cardoso e Eduardo Coelho por todas as discussões e noites de trabalho, pela transmissão de conhecimento, pelos programas de descompressão e companhia e por me manterem tão motivada a querer continuar a pertencer a este núcleo e a sonhar com o nosso futuro profissional;

- Aos meus amigos que sempre acreditaram e confiaram em mim e sabem que isto não acaba aqui;
- À minha tuna por tanto que me ensinou sobre as pessoas e sobre a vida e pelo brilho que deu ao meu percurso acadêmico: “somos um”.
- À minha mãe por fazer de mim o que sou hoje, por me ter transmitido autoconfiança e amor próprio, por me ter feito ambiciosa e determinada, por apostar nas minhas capacidades e num futuro de sucesso, obrigada por todo o esforço da tua vida a criar os teus filhos. Ao meu irmão, não só agradecer pela tua compreensão, mas pedir desculpa por estes cinco anos em que te vi crescer à distância. Dedico-vos este trabalho e espero que esta etapa que termino possa retribuir e compensar tudo o que fizeram por mim.

Índice

Agradecimentos	V
Índice de Tabelas	IX
Índice de Figuras	XI
Índice de Equações	XIII
Resumo	XV
Abstract	XVII
Lista de abreviaturas	XIX
1. Introdução	1
2. Material e Métodos	7
3. Resultados	17
4. Discussão	39
5. Conclusão	51
6. Sugestões para estudos futuros	53
7. Referências bibliográficas	55
Anexos	XXI

Índice de tabelas

Tabela 1	Valores médios \pm DP da idade, principais características antropométricas e nível competitivo dos nadadores na técnica de crol.	7
Tabela 2	Valores médios \pm DP das correlações dos nadadores da amostra distribuídos por G1, G2 e G3.	25
Tabela 3	Valores médios e DP do CV dos ciclos da técnica de crol dos nadadores da amostra distribuídos por G1, G2 e G3.	26
Tabela 4	Valores médios \pm DP e respetiva comparação de variáveis biomecânicas dos ciclos da técnica de crol distribuídos por G1, G2 e G3.	27
Tabela 5	Valores médios \pm DP, declive e SEM da duração dos ciclos da técnica de crol por nadador e G1, G2 e G3.	28
Tabela 6	Valores médios \pm DP, declive e SEM da $v_{méd}$ dos ciclos da técnica de crol por nadador e G1, G2 e G3.	29
Tabela 7	Valores médios \pm DP e SEM da $v_{máx}$ dos ciclos da técnica de crol por nadador e G1, G2 e G3.	30
Tabela 8	Valores médios \pm DP e SEM da v_{min} dos ciclos da técnica de crol por nadador e G1, G2 e G3.	31

Tabela 9	Percentagem e declive da $v_{\text{máx}}$ dos ciclos da técnica de crol por nadador e G1, G2 e G3.	32
Tabela 10	Percentagem e declive da v_{min} dos ciclos da técnica de crol por nadador e G1, G2 e G3.	33
Tabela 11	Valores de SEM das variáveis biomecânicas e coordenativas por G1, G2 e G3.	34
Tabela 12	Valores médios \pm DP e declive da duração relativa das fases propulsivas e não propulsivas dos ciclos da técnica de crol por G1, G2 e G3.	36
Tabela 13	Valores médios \pm DP e respetiva comparação dos momentos das ações de MI entre G1, G2 e G3.	36
Tabela 14	Valores médios \pm DP e respetiva comparação de variáveis biomecânicas entre G1, G2 e G3.	37

Índice de figuras

Figura 1	Diagrama síntese dos fatores determinantes do rendimento desportivo no nadador (Fernandes et al., 2008).	3
Figura 2	Momento da recolha de dados com utilização das câmaras subaquática e aérea fixadas ao charriot.	8
Figura 3	Padrão xadrez utilizado para calibração da câmara subaquática.	9
Figura 4	Fases de cada ciclo gestual da técnica de crol. Entrada da mão direita (A), início da ação descendente do MS direito (B), início da ação lateral interior do MS direito (C), início da ação ascendente do MS direito e entrada da mão esquerda (D), saída do MS direito e início da ação descendente do MS esquerdo (E), início da ação lateral interior do MS esquerdo (F), início da ação ascendente do MS esquerdo (G), saída do MS esquerdo (H).	11
Figura 5	Final da ação descendente dos MI direito (painel A) e esquerdo (painel B).	12
Figura 6	Sobreposição das curvas do tipo bimodal da v dos ciclos gestuais individuais na técnica de crol.	18
Figura 7	Sobreposição das curvas do tipo trimodal da v dos ciclos gestuais individuais na técnica de crol.	21
Figura 8	Distribuição percentual dos 207 ciclos obtidos na técnica de crol classificados como bimodais e trimodais em G1, G2 e G3.	24

Figura 9	Valores médios da duração das fases do ciclo obtidos entre G1, G2 e G3.	35
Figura 10	Valores médios dos momentos de cada ação descendente de MI no ciclo de nado obtidos para G1, G2 e G3.	37

Índice de equações

Equação 1	$F = m . a$	1
Equação 2	$P + D = m . a$	2
Equação 3	$dv = \frac{P + D}{m_c}$	2
Equação 4	$FG = \frac{1}{d}$	13
Equação 5	$DC = \frac{v}{FG}$	13
Equação 6	$IB = DC . v$	13

Resumo

As variações intracíclicas da velocidade (viv) são um indicador da performance do nadador que exibem as acelerações e desacelerações resultantes da alternância entre as forças propulsiva e de arrasto. O objetivo desta dissertação foi verificar a consistência das variáveis biomecânicas e coordenativas ao longo do nado de forma a determinar o ciclo típico da v na técnica de crol. Vinte e sete nadadores realizaram 25 m crol à intensidade máxima, tendo sido derivadas as coordenadas reais dos nadadores no tempo obtidas através da sua posição relativa e da posição real da câmara para o cálculo das variáveis biomecânicas, coordenativas, coeficientes de variação, correlação cruzada (CC_x) e autocorrelação (CC_{auto}). Os nadadores foram divididos em grupos G1, G2 e G3 usando o CC_x como critério. Foram realizadas análises de ciclos por inspeção visual e intra e interindividual das variáveis. Os resultados demonstraram que, apesar de haver curvas bimodais e trimodais, todas apresentaram duas acelerações positivas relativas às ações propulsivas dos membros superiores e desacelerações durante as não propulsivas, indicando a existência de um ciclo típico na técnica de crol. A curva média não se mostrou representativa das individuais. Os cálculos efetuados demonstraram $viv \sim 11\%$, duração dos ciclos ~ 1.15 s, $v_{méd} \sim 1.75$ ms⁻¹, $v_{máx} \sim 2.14$ ms⁻¹ e 122% da $v_{méd}$, $v_{min} \sim 1.35$ ms⁻¹ e 78% da $v_{méd}$, exibindo uma tendência a manterem-se constantes, apesar das pequenas variações presentes entre ciclos. A duração das fases propulsivas foi de 40% e as não propulsivas de 60%, com um índice de coordenação de oposição. Foram realizadas seis ações de membros inferiores por ciclo que se distribuíram aos ~ 9 , ~ 23 , ~ 42 , ~ 57 , ~ 74 e $\sim 90\%$ da sua duração. O grupo de nadadores que apresentou ciclos menos consistentes obteve os melhores resultados biomecânicos, sugerindo possuírem uma melhor capacidade de adaptação aos constrangimentos do meio aquático. As variações observadas dever-se-ão à variabilidade individual e aos constrangimentos do movimento humano.

PALAVRAS-CHAVE: NATAÇÃO, TÉCNICA DE CROL, VELOCIDADE, CICLO TÍPICO, VARIABILIDADE

Abstract

Intracyclic velocity variations (IVV) are an indicator of swimmer performance that exhibits accelerations and decelerations, varying from alternating propulsive (P) and drag (D) forces. The aim of this dissertation was to verify the biomechanical and coordinative variables consistency along the swim in order to determine the typical velocity (v) cycle in front crawl. Twenty-seven swimmers performed 25 m front crawl at maximum intensity, having derived swimmers real coordinates in time obtained through their relative position and real camera position for the calculation of biomechanical and coordinative variables, coefficients of variation, cross correlation (Cc_x) and autocorrelation (Cc_{auto}). Swimmers were divided into groups G1, G2 and G3 using Cc_x as criteria. The cycles analysis was performed by visual inspection and an intra and interindividual analysis of the variables. The results presented bimodal and trimodal curves, having two positive accelerations related to the propulsive actions of the upper limbs and decelerations during the non-propulsive ones, showing the existence of a typical cycle in front crawl technique. The mean curve was not representative of the individuals. The calculations performed showed a $viv \sim 11\%$, cycle duration ~ 1.15 s, mean velocity $\sim 1.75 \text{ ms}^{-1}$, maximum velocity ~ 2.14 and 122% from mean velocity, minimum velocity ~ 1.35 e 78% from mean velocity, exhibiting a tendency to remain constant despite the small variations between cycles. The propulsive phases duration was 40% and 60% the non-propulsive ones, with an opposition coordination index. Six lower limbs kicks per cycle were performed and distributed at ~ 9 , ~ 23 , ~ 42 , ~ 57 , ~ 74 e $\sim 90\%$ of its duration. The group of swimmers that presented less consistent cycles obtained the best biomechanical results, suggesting having a better ability to adapt to the constraints of the aquatic environment. The variations observed probably happen due to individual variability and the constraints of human movement.

KEYWORDS: SWIMMING, FRONT CRAWL, SPEED, TYPICAL CYCLE, VARIABILITY.

Lista de Abreviaturas

~	Aproximadamente
a	Aceleração
cf.	Confrontar com
cm	Centímetros
CM	Centro de massa
d	Duração
D	Força de arrasto hidrodinâmico
DP	Desvio padrão
DC	Distância de ciclo
e.g.	Por exemplo
F	Força aplicada
FG	Frequência gestual
FINA	Fédération Internationale de Natation
Hz	Hertz
IB	Índice de braçada
kg	Quilogramas
m	Metros
m_c	Massa corporal
MS	Membros superiores
mm	Milímetros
NPD	Natação Pura Desportiva
P	Força propulsiva
s	Segundos
SEM	Erro padrão da média
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
t	Tempo
v	Velocidade
viv	Variação intracíclica da velocidade
$V_{máx}$	Velocidade máxima
$V_{méd}$	Velocidade média
V_{min}	Velocidade mínima

1. Introdução

A Natação Pura Desportiva (NPD) é uma modalidade individual, cíclica e contínua visto que os membros superiores e inferiores (MS e MI, respetivamente) do nadador executam movimentos cíclicos, permitindo a sua continuidade propulsiva. Como o objetivo do nadador é cumprir uma determinada distância no menor tempo possível (Barbosa et al., 2010; Chollet et al., 1997; Fernandes, 2015), a solução passa por haver uma diminuição da resistência hidrodinâmica oposta ao deslocamento, uma maximização da capacidade e eficiência propulsivas das ações segmentares e uma minimização das variações intracíclicas de velocidade (v), que advêm da alternância entre as forças de arrasto e propulsiva (D e P, respetivamente; Vilas-Boas, 1986).

A preponderância de P ou D está subordinada às características do meio aquático, que se constitui tanto um suporte para a propulsão como uma resistência ao movimento (Guignard & Seifert, 2019). As particularidades estruturais e funcionais do nadador (e.g. antropometria) e o objetivo da tarefa também influenciam a forma como o deslocamento na água é efetuado. Atendendo que o movimento humano é extremamente complexo (Amadio, 1996) e depende dos constrangimentos ambientais, do organismo e da tarefa (Newell, 1986), além das experiências do indivíduo, o seu comportamento implica uma grande variabilidade (Seifert et al., 2007b; Stergiou, 2004). A interação contínua destes constrangimentos caracteriza a dinâmica do movimento.

As ações periódicas de MS, MI e tronco realizadas pelo nadador para a propulsão no meio aquático (Miyashita, 1971) levam a constantes mudanças de velocidade (v) em cada ciclo motor, traduzindo-se em acelerações e desacelerações do seu centro de massa (CM; Holmér, 1979; Karpovich, 1930; Vilas-Boas et al., 2011). Considerando-se a segunda lei de Newton, do ponto de vista teórico estas v dependem da força aplicada (F) e da massa corporal (m_c), sendo que “ a ” é a aceleração, derivada das variações da v .

$$F = m_c \cdot a \quad \text{(Equação 1)}$$

No meio aquático, a força resultante é constituída pelo balanço das forças P e D, enquanto m_c depende das características antropométricas do nadador, podendo reescrever-se a equação 1 da seguinte forma:

$$P + D = m_c \cdot a \quad (\text{Equação 2})$$

Rearranjando os termos, pode-se constatar que as viv são um indicador de eficiência de nado (Barbosa et al., 2013; Fernandes et al., 2012), em que o bom nadador deve ter a capacidade de aumentar P, mesmo submetido a elevados valores de D (Vilas-Boas et al., 2011):

$$dv = \frac{P + D}{m_c} \quad (\text{Equação 3})$$

Tendo em conta os fatores biomecânicos influenciadores do rendimento do nadador, em complementaridade com os energéticos, genéticos, ambientais e psicológicos (Figura 1), e dado que a v traduz a performance do nadador, torna-se imprescindível estudá-la cada vez mais detalhada e pormenorizadamente. Assim, o treino poderá ser melhor objetivado (Fernandes, 2015) e orientado pelo conhecimento técnico dos seus pontos fortes e fracos para a melhoria da eficiência dos movimentos do nadador (Barbosa et al., 2013; Vilas-Boas et al., 2011). Sendo a análise biomecânica uma forma de descrever e modelar matematicamente a prestação de um desportista (Amadio, 1996), as metodologias ao dispor são cada vez mais precisas e coerentes (Fernandes et al., 2010). Uma das áreas de maior aplicação biomecânica ao treino desportivo em geral e à NPD em particular é a cinemática, que descreve as características do movimento como a posição, a orientação a velocidade ou a aceleração (Amadio, 1996).

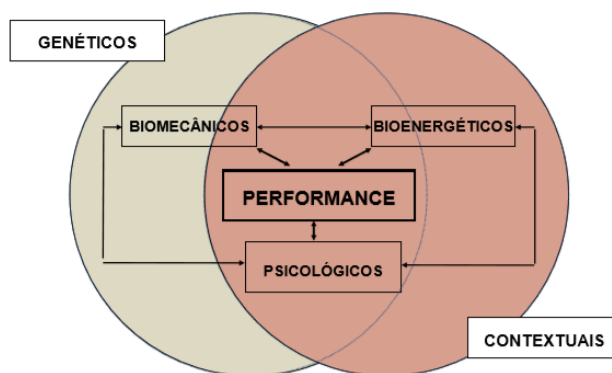


Figura 1: Diagrama síntese dos fatores determinantes do rendimento desportivo no nadador (Fernandes et al., 2008).

Existem diferentes metodologias de determinação da v de nado, entre as quais a avaliação de um ponto anatómico fixo (normalmente a anca) utilizando um velocímetro (Costill et al., 1987; Karpovich & Karpovich, 1970; Morouço et al., 2006) e digitalização de imagens (Barbosa et al., 2006), assim como a reconstrução 2D e 3D do movimento do CM (Fernandes et al., 2012; Leblanc et al., 2007). Apesar do último método mencionado ser o mais válido para representar o movimento completo do nadador, o seu cálculo é muito complexo e moroso (Fernandes et al., 2012; Gourgoulis et al., 2018; Vilas-Boas et al., 2011). Além disso, embora a avaliação cinemática de um ponto anatómico fixo tenha um erro associado e apresente resultados que possam superestimar os valores obtidos pela digitalização do movimento do CM (pelo facto de não se ter em conta as ações inter-segmentais), ambas as metodologias seguem o mesmo padrão de acelerações positivas e negativas (Gourgoulis et al., 2018; Vilas-Boas et al., 2011).

Complementarmente, a velocidade média ($v_{\text{méd}}$) do nadador pode ser obtida pelo produto da distância de ciclo (DC) pela frequência gestual (FG; Craig & Pendergast, 1979), sendo a DC aceite como um dos melhores preditores da performance em natação (Chollet et al., 1997; Keskinen & Komi, 1993). Além disso, deu origem a um novo conceito de análise da eficiência do nadador designado como índice de braçada (IB; Costill et al. (1985), referindo que o melhor nadador percorre a maior distância por ciclo gestual. Por outro lado, na

tentativa de vencer o efeito da fadiga (entendida como a incapacidade de manter altas DC), os nadadores vêm-se obrigados a aumentar a FG, evitando assim uma diminuição da v de nado (Craig & Pendergast, 1979). Apesar de intimamente relacionados com a fadiga, valores elevados de FG também estão associados às v de nado mais altas, características de distâncias competitivas mais curtas, nomeadamente os 50 e 100 m (Chollet et al., 1997; Craig et al., 1985; Kjendlie et al., 2006). Além disso, o aumento da FG pode também contribuir para uma diminuição da v , uma vez que reduz o tempo entre as fases propulsivas de cada MS (Figueiredo et al., 2012).

Desde os estudos piloto de Chatard et al. (1990) e Chollet et al. (2000) que o tempo existente entre fases propulsivas de cada MS nas técnicas alternadas é utilizado para caracterizar a coordenação inter-membros, sendo expresso pelo índice de coordenação (IdC). Este poderá apresentar um valor negativo quando existe um atraso entre as fases propulsivas contralaterais, valor igual a zero quando a última fase propulsiva de um MS representa o início da primeira fase do membro contralateral ou um valor positivo quando as fases contralaterais se sobrepõem (catch up, oposição e sobreposição, respetivamente; Chollet et al., 2000). O IdC tende a ser nulo ou negativo com o aumento da v pois existe uma tendência para adotar uma sincronização de oposição ou sobreposição (Seifert et al., 2007b). Por sua vez, as v de nado mais elevadas, ao estarem associadas a menor v (Figueiredo et al., 2012; Vilas-Boas et al., 2010), parecem elencar uma relação direta entre o IdC e as v , em que as adaptações da duração das fases propulsivas asseguram a estabilidade das v (Figueiredo et al., 2008; Schnitzler et al., 2008).

Parecem existir diferenças nas v conforme a continuidade/alternância das técnicas de nado, o sexo dos nadadores, a v e o nível competitivo. De facto, crol/costas e as nadadoras apresentam menores v devido às menores variações de impulso (alternância entre P e D do corpo), normalmente maior nas técnicas simultâneas (Alves, 1996) e às suas características antropométricas (Manley & Atha, 1992; Schnitzler et al., 2008). A v e as v apresentam uma relação parabólica (devido à força, à v para a atividade neuromuscular e à D), em que o aumento da v se justifica pela diminuição das v (Barbosa et al., 2013). Relativamente à performance, apesar de haver poucos estudos disponíveis, foi

demonstrado que os melhores nadadores possuem menores v_{iv} , sugerindo que estas se relacionam inversamente com o elevado nível desportivo (Matsuda et al., 2014 e Morouço et al., 2015).

A investigação das v_{iv} e restantes variáveis biomecânicas e coordenativas tem vindo a ser realizada nas quatro técnicas convencionais de nado com o objetivo de conhecer as características dos ciclos gestuais, as suas acelerações e desacelerações de v e o seu comportamento, permitindo identificar falhas, corrigir a técnica e melhorar o desempenho do nadador (Morouço et al., 2015; Vilas-Boas et al., 2011). Complementarmente, estudar a consistência dessas variáveis no decurso de ciclos de nado consecutivos possibilitará a constituição de um padrão de v repetível, caracterizando-se um ciclo típico particular de uma determinada técnica de nado e permitindo a deteção de erros sistemáticos.

Dado que existe uma carência de conhecimento do comportamento das v_{iv} entre ciclos de nado consecutivos e de forma a aprofundar o estudo neste âmbito, o objetivo desta dissertação é determinar o ciclo típico da v na técnica de crol. Pela comparação do coeficiente de variação (CV; variável de mensuração das v_{iv}) e das variáveis biomecânicas e coordenativas entre ciclos intra e entre nadadores, esperam-se resultados similares. Adicionalmente, utilizando a correlação cruzada (C_{cx}) e autocorrelação ($C_{c_{auto}}$) para comparação de sinais, colocou-se a hipótese de existir uma variabilidade entre as curvas de v , possivelmente devido à individualidade e complexidade e constrangimentos do movimento humano.

Este trabalho é constituído por seis capítulos, iniciando-se com o presente onde se realiza uma contextualização sobre a questão de estudo e a formulação do respetivo objetivo e hipóteses. No segundo, apresentam-se a caracterização da amostra, a metodologia e os materiais utilizados na avaliação e tratamento dos dados. O terceiro capítulo descreve os resultados e subdivide-se nas análises dos ciclos por inspeção visual e por variáveis biomecânicas e coordenativas intra e interindividuais dos grupos formados. A discussão representa o capítulo quatro do trabalho, onde se justifica a metodologia utilizada e se confrontam os resultados obtidos com os existentes na literatura, e as conclusões o ponto cinco. As sugestões para o futuro constituem o capítulo seis e no último encontram-se

as referências bibliográficas que serviram como suporte à realização desta dissertação.

2. Material e Métodos

No presente estudo participaram 27 nadadores de elevado nível desportivo, 17 do sexo feminino e 10 do sexo masculino, que realizavam, pelo menos, nove sessões de treino semanais. As suas principais características encontram-se descritas na Tabela 1, tendo o nível competitivo sido determinado pela melhor marca desportiva alcançada em provas de livres em piscina de 25 e 50 m. É possível verificar que os nadadores são mais velhos, mais altos e mais pesados que as nadadoras.

Tabela 1. Valores médios \pm DP da idade, principais características antropométricas e nível competitivo dos nadadores na técnica de crol.

Variáveis	Feminino	Masculino	Amostra total
Idade (anos)*	16.2 \pm 1.8	18.3 \pm 3.5	17.0 \pm 2.7
Altura (cm)*	169.5 \pm 4.3	178.6 \pm 5.3	171 \pm 6.6
Peso (kg)*	59.8 \pm 4.2	68.8 \pm 7.2	61.7 \pm 7.0
Pontos FINA	720 \pm 65	717 \pm 80	719 \pm 70

* diferenças entre géneros ($p < 0.05$)

A recolha de dados foi realizada numa piscina coberta de 25 m de comprimento por 12.5 m de largura (seis pistas) e 2.0 m de profundidade. Depois de um aquecimento padronizado de 1000 m, os nadadores realizaram 25 m crol à intensidade máxima com partida dentro de água e sem indicação de um padrão respiratório específico. No solo da piscina foram colocadas duas filas de 10 marcações com uma distância de 2.5 m entre cada, com o objetivo de possibilitar a posterior calibração e transformação das coordenadas. Colocaram-se duas câmaras GoPro 6 (120 Hz), com uma resolução de 1920 x 1080 pixels em modo wide no plano sagital, fixadas a um charriot que foi empurrado por um investigador ao longo dos 25 m (Figura 2). As câmaras foram posicionadas dentro e fora de água (26 e 50 cm, respetivamente), registando simultaneamente o percurso do nadador e tendo sido acionadas manualmente.



Figura 2. Momento da recolha de dados com utilização das câmaras subaquática e aérea fixadas ao charriot.

Os vídeos foram armazenados na memória interna das câmaras utilizadas em formato mp4 por ser a opção padrão e não configurável. Posteriormente, foram transferidos para um computador e convertidos em formato avi (raw rgb – uncompressed motion JPEG), sem áudio, utilizando-se o software open source Blender (versão 2.79b), e reduzindo a taxa de reprodução para posterior análise cinemática. As alterações realizadas garantiram a compatibilidade dos vídeos com os softwares de visualização e análise. Além disso, foram cortados nas zonas de interesse, ou seja, desde o início da primeira ação até ao final da última ação completa dos MS.

A calibração das câmaras implicou a determinação dos seus parâmetros intrínsecos (características óticas e geométricas) e extrínsecos (posição e orientação 3D da câmara relativamente ao sistema de coordenadas; Heikkila & Silven, 1997). Para a calibração interna da câmara foi filmado em diferentes posições um padrão xadrez com 15 linhas e 10 colunas, tendo cada quadrado 95 x 95 mm de dimensão (Figura 3). Foi utilizado o modelo de calibração de Brown (1971) que fornece a matriz da câmara e os coeficientes de distorção da lente, sendo inerente à câmara e não ao volume de calibração. Baseado no protocolo sugerido por Heikkila & Silven (1997), foram calculados os parâmetros intrínsecos da câmara (distância focal e ponto principal) e os parâmetros de distorção radial e tangencial.

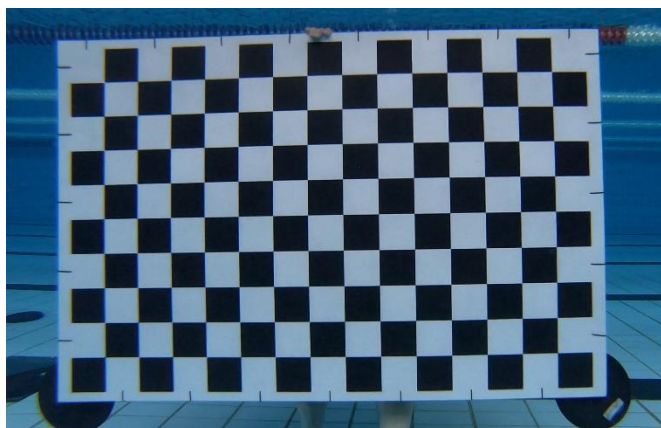


Figura 3: Padrão xadrez utilizado para calibração da câmara subaquática.

No MATLAB (versão 9.5) desenvolveu-se uma rotina em que as posições das marcações do solo da piscina foram digitalizadas, permitindo o cálculo dos parâmetros extrínsecos da câmara imagem a imagem utilizando as coordenadas reais dos pontos (Heikkila & Silven, 1997). Para o conhecimento da posição do nadador, a anca foi considerada como ponto anatômico fixo, tendo-se calculado o seu vetor normalizado e a sua localização em relação à posição do sensor da câmara (que se encontrava a 2 m de distância). Para obtenção da v foram derivadas no tempo as coordenadas reais do nadador e das câmaras, obtidas através da sua posição relativa e real (respetivamente), tendo sido suavizadas com uma média móvel de cinco pontos de forma a eliminar erros.

O processamento das imagens foi feito com o software open source Blender (versão 2.79b) e, por contagem de imagens, fez-se a divisão dos ciclos de nado e a identificação das suas fases (de acordo com Maglischo, 2003) através do plano sagital (Figura 4). Tendo em conta a dificuldade desta metodologia, a análise cinemática dos vídeos foi realizada com uma observação cuidadosa da orientação da mão e cotovelo, imagem por imagem e em câmara lenta (Chatard et al., 1990). Dada a importância da estabilidade coordenativa da ação dos MI em nadadores de alto nível (Seifert et al., 2007a), o final da ação descendente das ações de MI também foi marcado com os mesmos pressupostos (Figura 5). Além de se pretender confirmar a sincronização de seis ações de MI por ciclo (Persyn et al., 1983; Seifert et al., 2007a), foi objetivo caracterizar os momentos do ciclo em que os nadadores as realizavam.

Um ciclo de crol inicia-se desde o momento da entrada de uma mão na água até ao momento imediatamente anterior à posterior entrada da mesma mão. A subdivisão do ciclo integrou as seguintes fases: (i) entrada (E), caracterizada pela entrada do MS na água até à sua máxima extensão; (ii) ação descendente (AD), em que o MS realiza um movimento descendente até ao ponto da flexão do antebraço conhecido como “agarre”; (iii) ação lateral interior (ALI), desde o final da AD até à flexão do MS em aproximadamente 90° abaixo do seu corpo; (iv) ação ascendente (AA), que se inicia no final da ALI até que a fase subaquática seja finalizada imediatamente antes da mão do nadador sair da água e (v) recuperação (R), que se caracteriza pela saída da mão até à nova entrada. A identificação desta fase do MS oculto pelo tronco do nadador foi realizada pela coordenação das imagens da câmara aérea com a subaquática, baseado no sistema de captação de imagens de duplo meio de Vilas-Boas et al. (1996).



A



B



C



D



E



F



G



H

Figura 4. Fases de cada ciclo gestual da técnica de crol. Entrada da mão direita (A), início da ação descendente do MS direito (B), início da ação lateral interior do MS direito (C), início da ação ascendente do MS direito e entrada da mão esquerda (D), saída do MS direito e início da ação descendente do MS esquerdo (E), início da ação lateral interior do MS esquerdo (F), início da ação ascendente do MS esquerdo (G), saída do MS esquerdo (H).

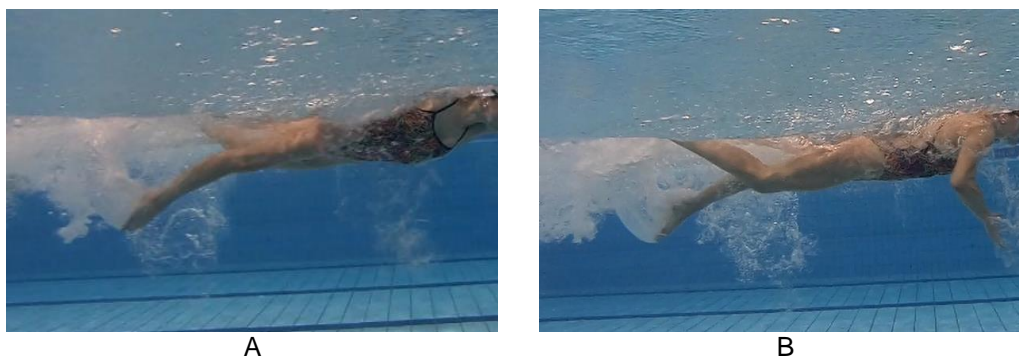


Figura 5. Final da ação descendente dos MI direito (painel A) e esquerdo (painel B).

Foi desenvolvida uma rotina de MATLAB (versão 9.5) para o cálculo de todas as variáveis de estudo, especificamente duração dos ciclos, $v_{\text{méd}}$, $v_{\text{mínima}}$ (v_{min}) e máxima ($v_{\text{máx}}$), obtendo-se os valores absolutos e relativos para v_{min} e $v_{\text{máx}}$. As viv de cada ciclo da técnica de crol foram obtidas pelo cálculo do CV (DP da $v/v_{\text{méd}}$) como sugerido por Miller (1975) e utilizado pela literatura (Barbosa et al., 2006). Ainda se obtiveram as durações relativas das fases do ciclo e o momento do ciclo em que ocorreram, e o momento final da ação descendente dos MI. Foram criadas retas dos valores médios individuais do CV, duração dos ciclos, $v_{\text{méd}}$, v_{min} , $v_{\text{máx}}$ e durações relativas das fases do ciclo de forma a observar a sua tendência ao longo do nado.

Criaram-se as curvas da v normalizada ao ciclo da técnica de crol iniciado com o MS direito e a curva da $v_{\text{méd}}$ de cada nadador. Na curva média posicionaram-se os momentos das fases do ciclo de ambos os MS e o momento final das ações descendentes de MI. Por inspeção visual, analisaram-se as curvas de v de cada ciclo individual de forma a identificar os seus tipos (bimodais ou trimodais) e a caracterizar a viv. Como as curvas de v obtidas de cada ciclo são agrupadas por indivíduo e todos apresentaram curvas de ambos os tipos, a divisão dos nadadores por tipo de curva foi realizada consoante o que exibiu em maioria.

Complementarmente às anteriores, calcularam-se a FG, DC, IB e IdC para todos os nadadores. A FG foi obtida pelo inverso da duração dos ciclos de nado, em que d é a duração (Maglischo, 2003):

$$FG = \frac{1}{d} \quad (\text{Equação 4})$$

A DC é um preditor de performance (Chollet et al., 1997; Seifert et al., 2007a), tendo sido calculada através da razão entre v e FG (Craig & Pendergast, 1979):

$$DC = \frac{v}{FG} \quad (\text{Equação 5})$$

O IB, sendo também uma variável do desempenho do nadador (Barbosa et al., 2010), assume que, a uma dada v , o nadador que percorre uma maior distância por ciclo apresenta a melhor técnica, tendo sido obtido pelo produto da DC e da v (Costill et al., 1985).

$$IB = DC \cdot v \quad (\text{Equação 6})$$

O IdC é definido como o tempo entre o início da propulsão do primeiro MS e o final da propulsão do MS contralateral e foi calculado pela diferença entre o início da fase propulsiva do primeiro MS direito e o final da fase propulsiva do segundo MS contralateral (Chollet et al., 2000). A propulsão do nado num ciclo gestual corresponde ao tempo que a mão demora a deslocar-se desde o início da ação lateral interior até ao momento em que deixa a água, junto à posição da anca (Carmigniani et al., 2019). Assim, a duração da fase propulsiva correspondeu à soma das ações lateral interior e ascendente e a duração da fase não propulsiva à soma da entrada, ação descendente e recuperação (Chollet et al., 2000; Seifert et al., 2007b).

Considerar apenas a amplitude da v e não a sua distribuição parece insuficiente para a verificação de um ciclo típico. Assim, calcularam-se para cada nadador o coeficiente de correlação cruzada (C_{cx}) e o coeficiente de autocorrelação ($C_{c\text{auto}}$) para avaliar a correlação entre os ciclos individuais de MS e a existência de um padrão de repetição entre si, respetivamente. O primeiro calcula a similaridade de forma entre duas séries, permitindo determinar se uma série de dados está

inserida noutra e identificar atrasos ou avanços. Portanto, o ciclo médio foi individualmente sobreposto aos ciclos na curva total de v. O segundo é uma medida de correlação entre as observações de uma série temporal que pretende encontrar padrões de repetição e, por isso, fez-se a sobreposição do número total de ciclos de cada nadador. Os valores discretos foram obtidos da média dos pontos da curva de correlação coincidentes com a entrada da mão, sendo maior a correlação quanto maior o valor (curvas mais idênticas).

A amostra foi dividida em três grupos usando o valor de Cc_x como critério, já que esta medida caracteriza a similaridade entre os ciclos com o ciclo médio. Esta divisão foi realizada no sentido de analisar os ciclos gestuais dos nadadores mais e menos constantes. Assim, todos os grupos são constituídos pelo mesmo número de elementos (nove), sendo o Grupo 1 (G1) representado pelos nadadores com maior Cc_x , o Grupo 2 (G2) pelos nadadores com os valores centrais e o Grupo 3 (G3) pelos nadadores com Cc_x mais baixo. A análise intraindividual foi realizada com base nos valores médios, DP e SEM das variáveis calculadas ao longo dos ciclos de nado. A análise interindividual foi feita com os testes estatísticos para comparação entre grupos.

A análise estatística dos dados recolhidos foi realizada no Statistical Package for the Social Sciences (SPSS; versão 26.0). Através da análise exploratória foram calculadas medidas de tendência central (média) e dispersão (desvio padrão; DP) para todas as variáveis e verificados os pressupostos de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk. A posição e duração relativas das fases de cada ciclo da técnica de crol e a posição relativa da ação descendente dos MI foram obtidas com a estatística circular (Mardia, 1975). Para verificar a estabilidade do desempenho dos ciclos foi calculado o erro padrão da média (SEM).

Realizou-se o teste do Qui-Quadrado de Pearson para analisar a relação dos grupos de análise com os tipos de curva da v na técnica de crol. Recorreu-se ao teste t de medidas independentes para comparação entre sexos das principais características dos nadadores. Para comparação das variáveis biomecânicas e coordenativas entre os grupos de análise foi utilizado o teste ANOVA para medidas independentes. O teste Post Hoc Tukey foi utilizado para identificar

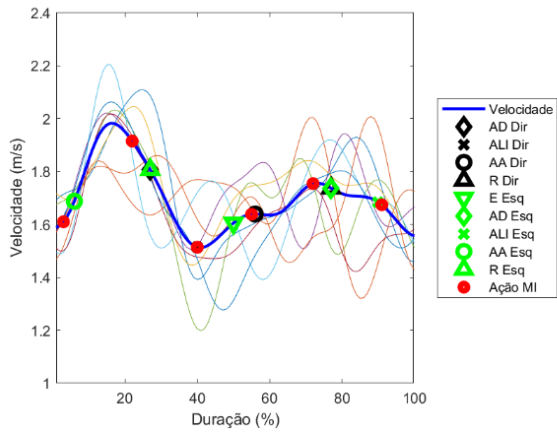
diferenças de pares sempre que fosse obtido um valor de F significativo. Foi estabelecido um nível de significância de 5%.

3. Resultados

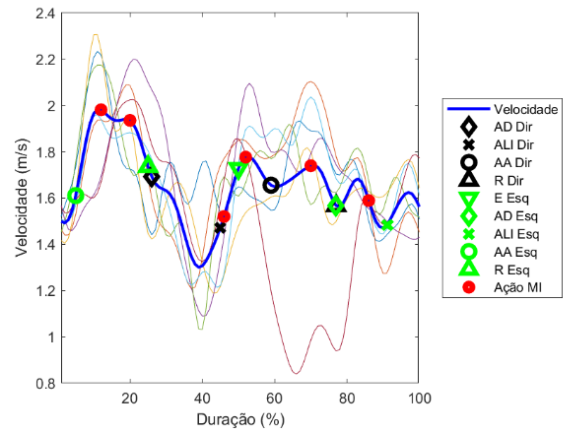
Foram obtidos 207 ciclos da técnica de crol e identificados dois tipos de curvas da v através de inspeção visual (cf. Anexos): bimodal com duas inflexões associadas às acelerações positivas resultantes da ação dos MS (137 ciclos), e trimodal com três inflexões relativas às acelerações positivas da ação dos MS, à alternância entre as fases propulsivas e, possivelmente, a ações conjuntas dos MS e MI (70 ciclos). À priori, poder-se-á afirmar a existência de uma tipicidade do comportamento da v nos ciclos da técnica de crol. Em contrapartida, a existência de dois tipos de curva de v poderá sugerir a existência de alguma variação e, de antemão, se espera que as variáveis calculadas demonstrem dissemelhanças ao longo do nado.

O perfil bimodal da v de nado obtido de 16 nadadores da amostra encontra-se na Figura 6, onde se destacam dois picos de v mostrando que, na maioria dos casos, a primeira inflexão atinge valores mais altos que a segunda. A primeira inflexão ocorre entre 15-20% do ciclo de nado, com aumentos de v até 2.75 ms^{-1} . A primeira deflexão acontece entre 40-45%, diminuindo a v até $1.2-1.8 \text{ ms}^{-1}$. A segunda inflexão ocorre entre 55-80%, com v aumentando até $1.65-2.10 \text{ ms}^{-1}$ e a segunda diminuição aos 80-100% do nado, com a v a atingir os $1.40-1.60 \text{ ms}^{-1}$. Os valores mínimos de v vão até 1.20 ms^{-1} e os máximos chegam a 2.75 ms^{-1} .

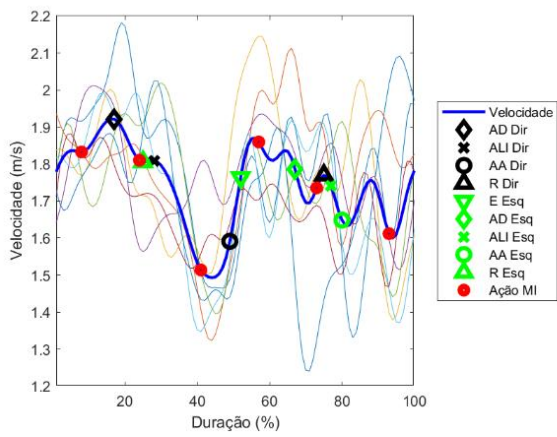
Relativamente às fases de nado, a AD_{dir} ocorre aos 20%, a ALI_{dir} entre 25-45%, a AA_{dir} entre 45-60% e a R_{dir} entre 70-80% do ciclo. A E_{esq} acontece aos 45-50%, a AD_{esq} entre 65-75%, a ALI_{esq} nos 75-90%, a AA_{esq} entre 80-20% e a R_{esq} entre os 20-30% do ciclo. A ocorrência das oscilações positivas do ciclo parece dever-se às fases propulsivas dos MS_{esq} e MS_{dir} , respetivamente, e, portanto, a razão pela qual a v aumenta no ciclo gestual. Quanto ao final da ação descendente de MI, $MI_{1\text{esq}}$ é realizada entre 5 e 10%, a $MI_{1\text{dir}}$ entre 20-25%, a $MI_{2\text{esq}}$ aos 40-45%, a $MI_{2\text{dir}}$ entre 50 e 60%, a $MI_{3\text{esq}}$ entre 70-75% e a $MI_{3\text{dir}}$ entre 85 e 95%.



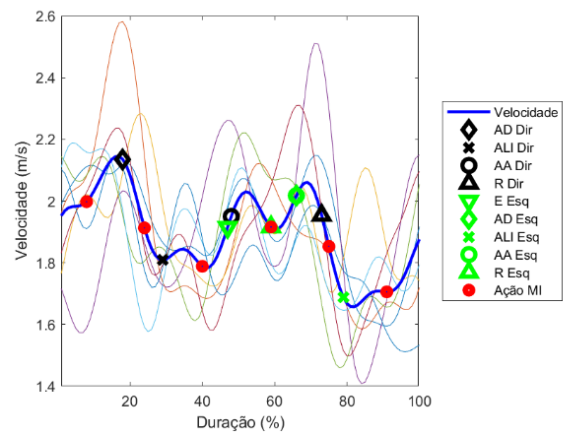
N2



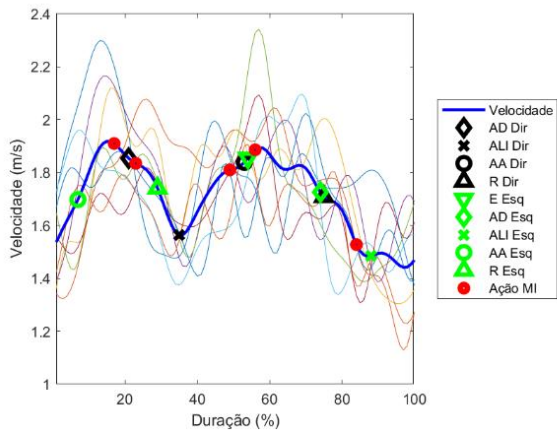
N4



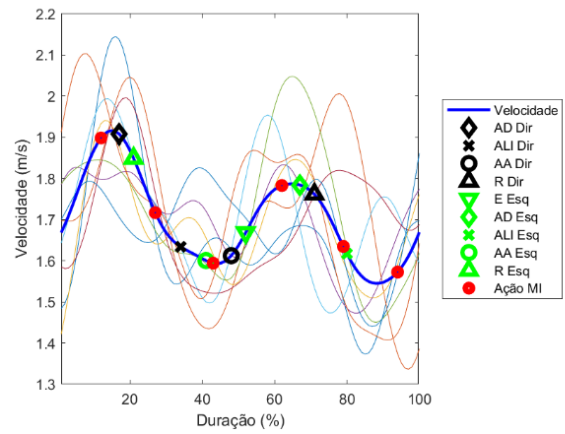
N5



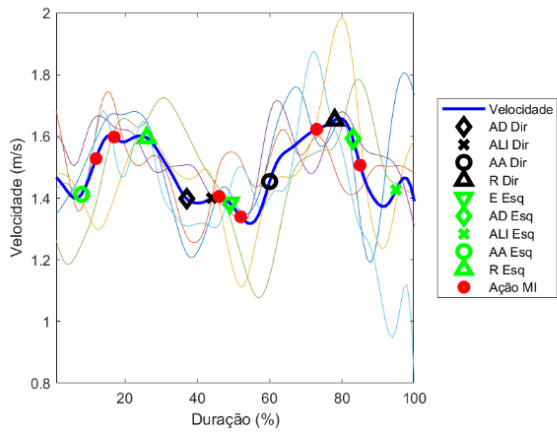
N25



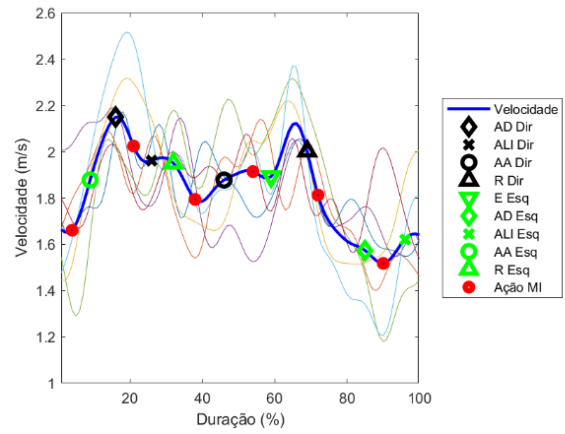
N7



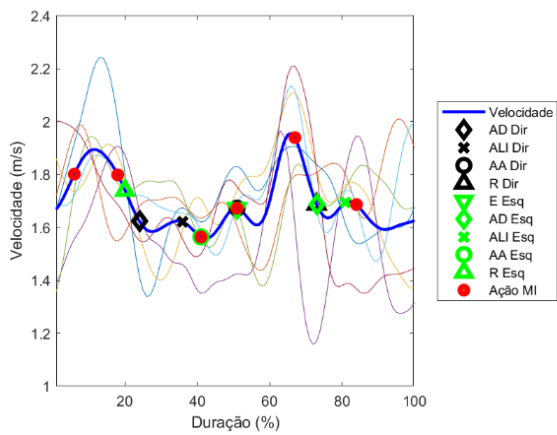
N8



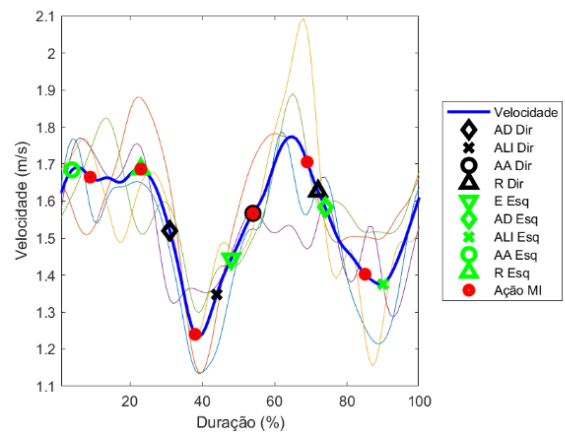
N9



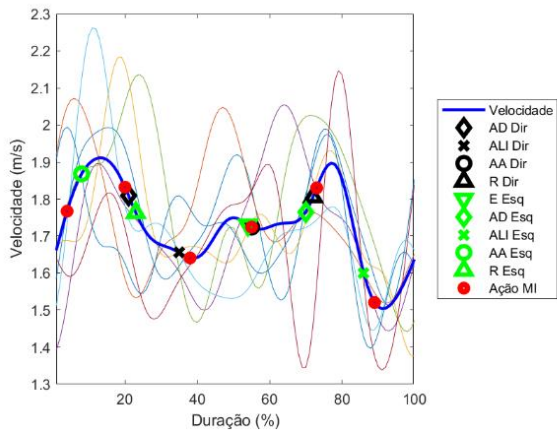
N11



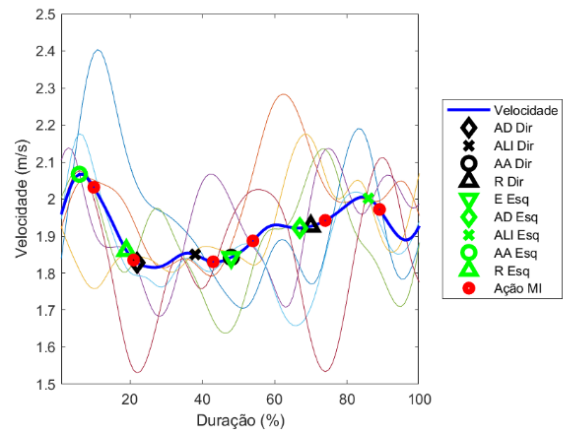
N13



N19



N20



N22

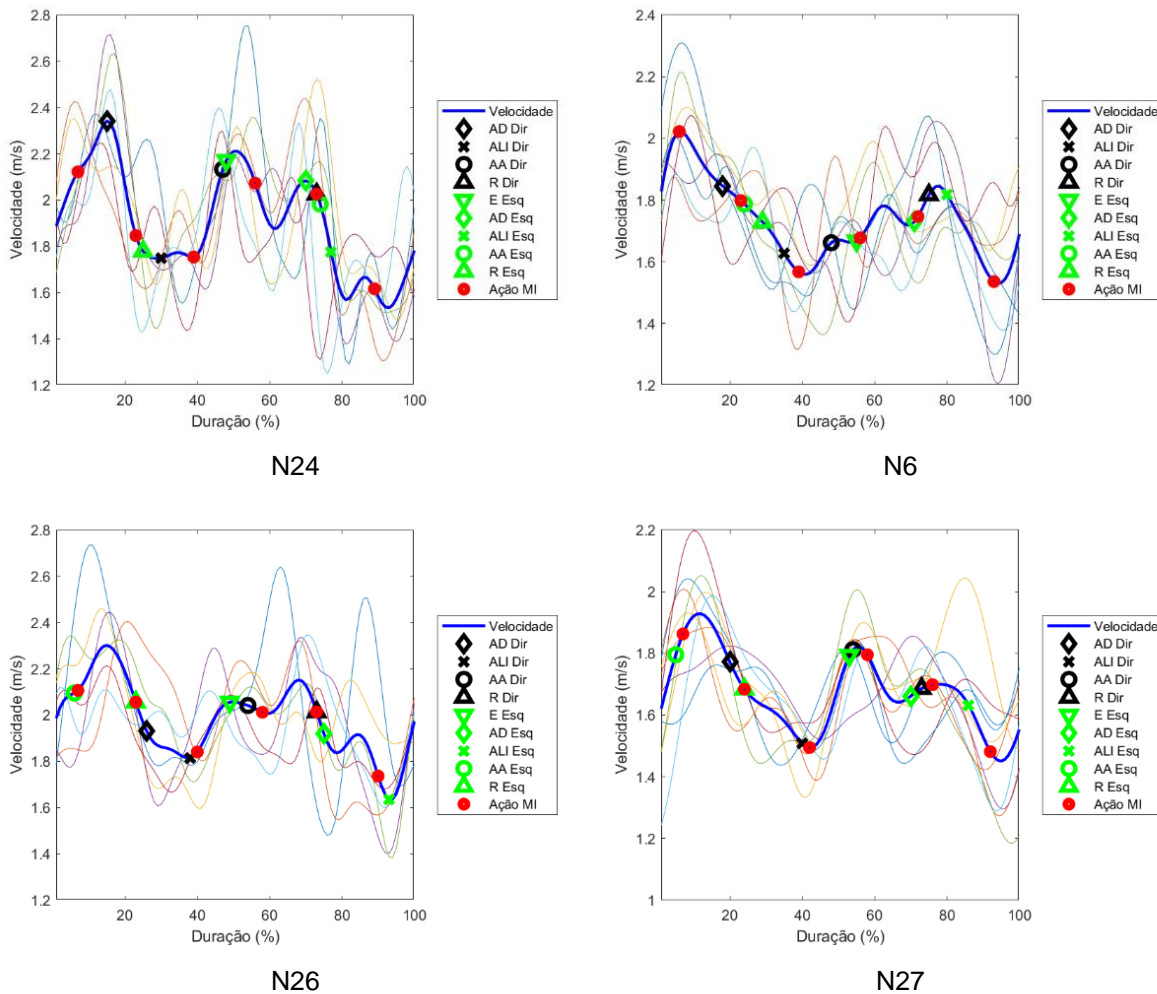
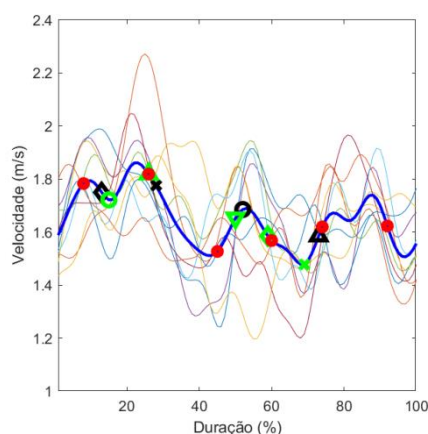


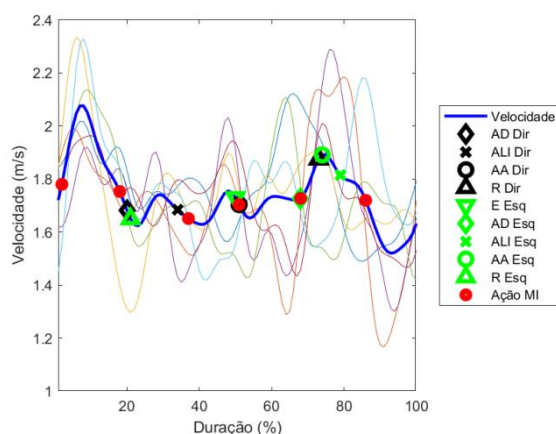
Figura 6: Sobreposição das curvas do tipo bimodal da v dos ciclos gestuais individuais na técnica de crol.

O perfil trimodal da v obtido de 11 nadadores é apresentado na Figura 7, onde se destacam três picos de v mostrando que os casos N1, N12, N10 e N3 apresentam o valor mais alto na primeira inflexão, N15, N14 e N16 na segunda e N17, N18, N21 e N23 demonstram valores idênticos nos três. A primeira inflexão da curva ocorre aos 15% do ciclo de nado (exceto painel 1, Figura 6), com aumentos de v até $1.85\text{--}2\text{ ms}^{-1}$. A primeira deflexão acontece aos 40%, diminuindo a v até $1.5\text{--}1.6\text{ ms}^{-1}$. A segunda inflexão ocorre aos 40-70%, com v aumentando até $1.60\text{--}2\text{ ms}^{-1}$ e a segunda diminuição aos 65-85% do nado, com a v atingindo os $1.45\text{--}1.85\text{ ms}^{-1}$. A última inflexão ocorre pelos 90%, com aumentos de v até $1.70\text{--}1.90\text{ ms}^{-1}$. Os valores mínimos de v atingem 1.30 ms^{-1} e os máximos chegam a 2.20 ms^{-1} .

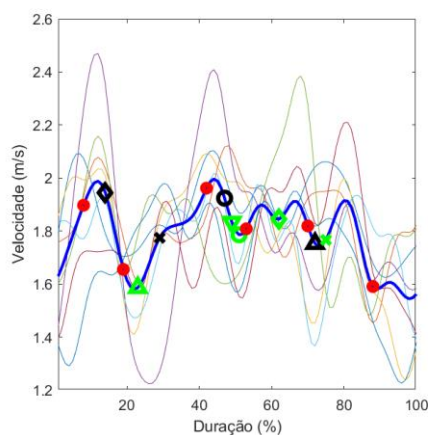
Relativamente às fases do ciclo, a AD_{dir} ocorre aos 20%, a ALI_{dir} entre 30-40%, a AA_{dir} entre 45-50% e a R_{dir} entre os 70-80% do ciclo. A E_{esq} acontece aos 50%, a AD_{esq} entre 60-75%, a ALI_{esq} nos 70-90%, a AA_{esq} entre 75-20% e a R_{esq} entre os 20-25% do ciclo. A ocorrência das oscilações positivas do ciclo parece dever-se às fases propulsivas dos MS_{dir} , ALI_{dir} e MS_{esq} , respetivamente, ou pela combinação de ações do nado e das ações de MI e, portanto, razão pela qual a v aumenta no ciclo gestual. Quanto às ações de MI, a MI_{1esq} é realizada entre 5 e 20% (exceto painel N25, Figura 7), a MI_{1dir} entre 20-30% (exceto painel N25, Figura 7), a MI_{2esq} aos 40-45% (exceto painel N7, Figura 7), a MI_{2dir} entre 60 e 65%, a MI_{3esq} entre 65-80% e a MI_{3dir} entre 80 e 90%. O nadador do painel N8 foi o único executante de apenas 4 ações de MI, tendo ocorrido aos 20, 50, 75 e 98% do ciclo.



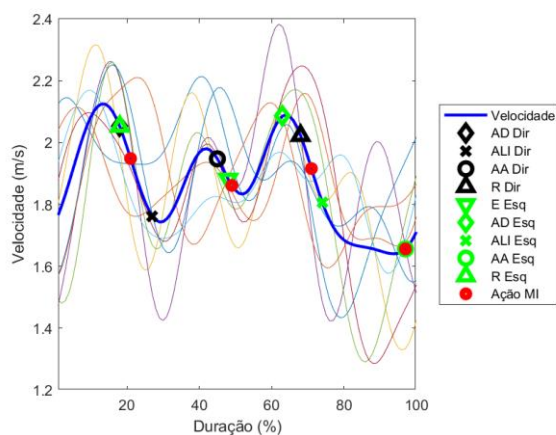
N1



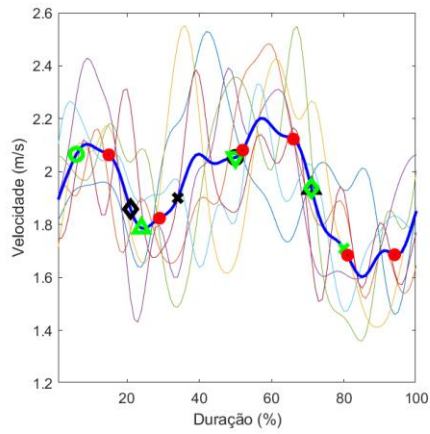
N12



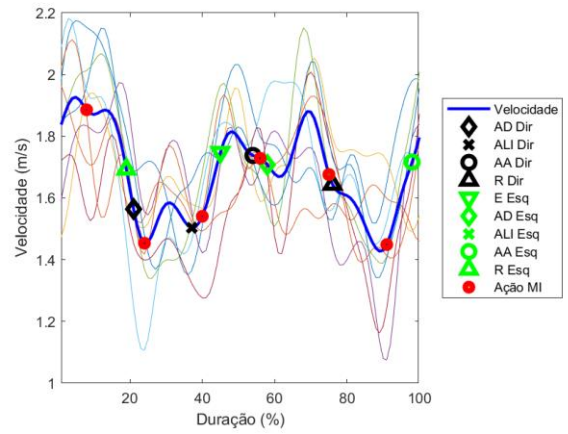
N10



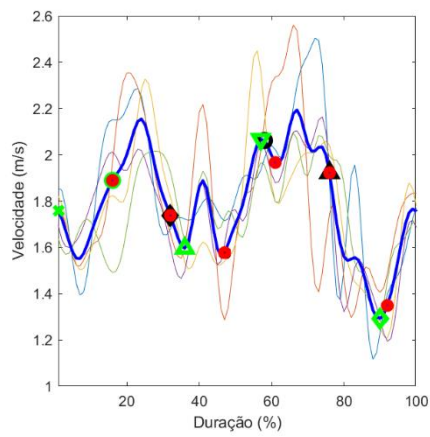
N15



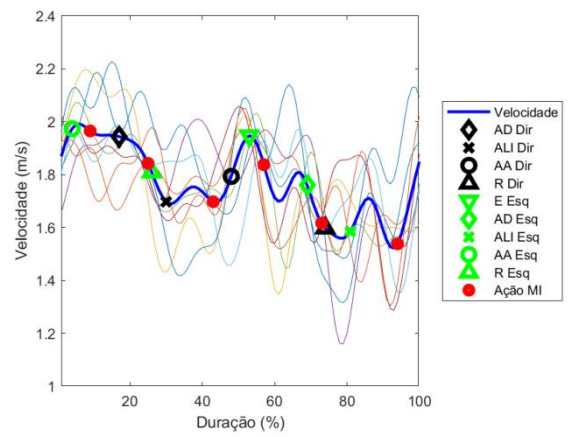
N14



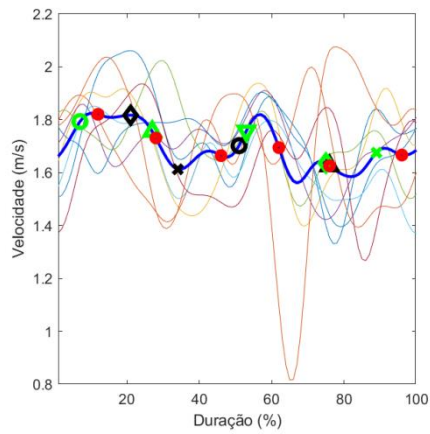
N3



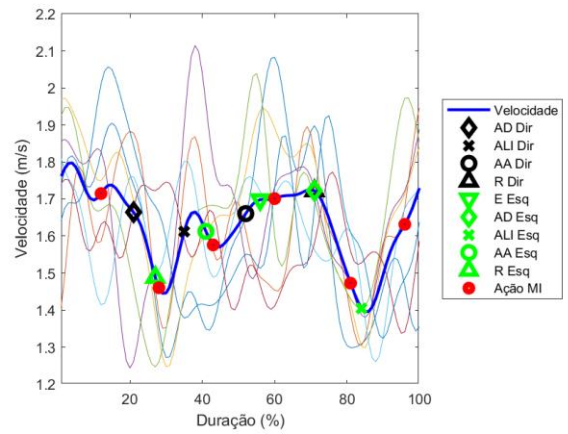
N16



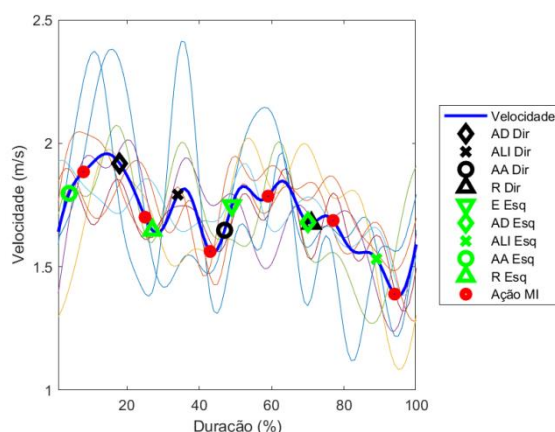
N17



N18



N21



N23

Figura 7: Sobreposição das curvas do tipo trimodal da v dos ciclos gestuais individuais na técnica de crol.

Através das figuras supramencionadas observou-se a existência de uma grande viv entre os ciclos realizados pelos nadadores na técnica de crol. Complementarmente, nenhuma das curvas reais é representada pela curva média, apresentando padrões semelhantes, mas diferindo em tempo e v , colocando-se a hipótese de existir variabilidade intrassujeito. A comparação das curvas entre nadadores expressa a existência de uma desigualdade, visto não haver sujeitos com um padrão de v exatamente igual. A diferença de amplitudes da v e a dissimilaridade dos momentos de início das fases dos ciclos gestuais permite admitir a existência de variabilidade entre os nadadores da amostra.

A descrição das ocorrências de cada fase do ciclo da técnica de crol realizada anteriormente constituiu-se como um resumo da análise visual das Figuras 6 e 7. Os valores médios do início das fases do ciclo da técnica de crol e a posição final das ações descendentes de MI foram colocados na curva média e, portanto, a posição é afetada pela variabilidade intraindividual dos sujeitos. Verifica-se que nos painéis N8 e N13 da Figura 6 a ação ascendente aparece depois da fase de recuperação, e em N24 e N6 a ação ascendente encontra-se antes da lateral interior. Em nenhuma se observa unicamente uma oscilação positiva ou negativa, isto é, são visíveis momentos de aumento e diminuição da v na mesma fase, sugerindo a existência de uma variação intra-fase da v .

De forma a estabelecer uma relação entre os tipos de curva e os nadadores mais e menos consistentes, a distribuição dos ciclos bimodais e trimodais pelos grupos (G1, G2 e G3) encontra-se ilustrada na Figura 7, tendo-se obtido 62 ciclos em G1, 72 em G2 e 73 em G3. Pela sua observação, denota-se uma maioria de ciclos bimodais em todos os grupos, com maior relevância em G1. No entanto, G3 apresenta uma distribuição mais equilibrada entre os dois tipos, que poderá dever-se ao facto de representar os nadadores com os ciclos menos correlacionados. Ou seja, é sugerido que uma das causas da inconsistência dos nadadores de G3 será a apresentação de curvas mais variadas. Para responder a esta hipótese, realizou-se o teste do Qui-Quadrado de Pearson que demonstrou que os tipos de curvas não estão significativamente distribuídos pelos grupos de análise ($p < 0.05$), revelando que nenhum tipo de curva é indutor de maior variabilidade.

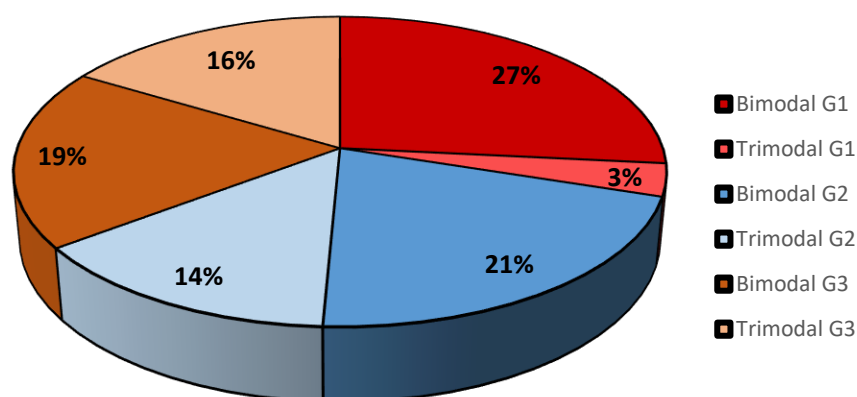


Figura 8. Distribuição percentual dos 207 ciclos obtidos na técnica de crol classificados como bimodais e trimodais em G1, G2 e G3.

Na Tabela 2 encontram-se os valores de Cc_x e Cc_{auto} dos nadadores da amostra distribuídos por G1, G2 e G3, onde se verificam diferenças significativas entre G1 e G2 e entre G1 e G3 no Cc_x , como esperado. Denota-se que os valores de Cc_{auto} são aproximados entre si. Esta semelhança demonstra que todos os nadadores apresentam algum padrão de repetição da curva da v. Embora G2 e G3 não possuam uma grande correlação da curva média com os ciclos gestuais

individualmente, o valor de CC_{auto} revela uma semelhança entre ciclos, podendo dever-se à existência de variações progressivas.

Tabela 2. Valores médios \pm DP das correlações dos nadadores da amostra distribuídos por G1, G2 e G3.

Variáveis	G1	G2	G3	Amostra total
$CC_x^{1,2}$	157.30 \pm 17.12	133.87 \pm 2.91	124.33 \pm 6.27	138.5 \pm 17.44
CC_{auto}	3.62 \pm 1.66	3.15 \pm 1.04	3.61 \pm 2.20	3.46 \pm 1.65

¹ diferenças entre G1 e G2, ² diferenças entre G1 e G3

A Tabela 3 é representada pelos valores de v dos ciclos da técnica de crol de todos os nadadores da amostra distribuídos por G1, G2 e G3, sendo possível verificar que os valores de CV são idênticos em todos os grupos. Pela análise das tabelas 2 e 3, denota-se que G1, sendo constituído pelos nadadores com ciclos mais idênticos (maior CC_x), possui v semelhantes a G2 e G3 entre os vários ciclos de nado. Tal como esperado, isto sugere que a amplitude das v não espelha a possibilidade de existir um ciclo típico visto que não considera a distribuição da v pela curva. Complementarmente, as v podem ser idênticas a diferentes v e tipos de curva. Apesar da aproximação a zero, as v tenderam a aumentar ao longo do nado.

Tabela 3. Valores médios e DP do CV dos ciclos da técnica de crol dos nadadores da amostra distribuídos por G1, G2 e G3.

CV	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média ± DP	slope
G1	N9	10.9	6.7	12.3	6.7	12.7	15.5					10.4 ± 2.8	0.99
	N19	12.2	10.8	13.3	8.8	8.5						11.2 ± 2.7	-0.95
	N16	17.1	18.3	15.8	13.9	11.3						15.3 ± 2.7	-1.60
	N4	11.3	14.9	14.1	16.6	13.8	13.7	22.2				14.5 ± 2.8	1.06
	N13	11.2	7.9	10.5	13.7	7.7	8.5	13.6				10.2 ± 2.5	0.19
	N20	8.4	9.1	9.7	9.7	11.1	10.7	10.8	8.1			9.7 ± 1.6	0.13
	N12	9.4	14.7	11.7	13.1	11.5	11.9	8.7				11.2 ± 3.1	-0.27
	N2	11.2	8.8	8.3	8.4	12.1	11.5	10.1	12.1	8.6		10.0 ± 1.9	0.10
	N6	14.9	7.6	7.4	11.4	11.7	8.9	9.0	8.4			9.8 ± 2.6	-0.40
total												11.3 ± 3.0	
G2	N5	11.44	9.9	10.8	7.2	9.2	11.2	6.1	11.4			9.7 ± 1.6	-0.19
	N3	10.78	7.6	8.5	12.2	13.8	14.4	12.9	12.9	11.0		11.6 ± 2.6	0.46
	N1	11.78	12.8	9.1	12.7	8.5	8.9	13.5	6.3	9.0	11.5	10.4 ± 2.2	-0.25
	N11	9.54	11.8	14.1	11.5	17.9	18.8	7.9				13.2 ± 3.5	0.46
	N14	12.37	13.7	16.2	15.2	16.2	10.7	12.1				14.0 ± 2.0	-0.25
	N18	10.28	10.6	9.8	6.6	7.3	7.5	9.9	7.1	16.9		9.2 ± 2.5	0.29
	N26	16.14	12.8	10.8	13.7	11.8	8.4	8.0				11.9 ± 2.6	-1.15
	N27	9.52	10.9	9.3	9.0	13.9	11.1	11.2	6.3	8.6	8.8	9.8 ± 2.4	-0.21
	N10	7.31	8.3	13.4	17.7	11.8	9.4	11.0	12.8			11.4 ± 3.5	0.41
total												11.1 ± 2.9	
G3	N24	18.1	16.7	14.5	17.5	16.2	16.5	13.1				16.0 ± 1.8	-0.49
	N21	14.7	10.7	12.0	12.2	12.1	8.5	7.5	12.2			11.3 ± 2.0	-0.53
	N17	10.0	7.4	13.3	11.4	9.5	9.1	9.9	14.9	9.9		10.6 ± 2.1	0.21
	N23	16.4	10.6	14.4	10.8	11.8	6.9	7.0	18.6	7.1		11.6 ± 3.6	-0.53
	N25	8.5	13.7	7.7	13.8	11.4	9.1	11.3	9.0			10.7 ± 2.0	-0.08
	N7	12.9	15.2	13.4	12.1	13.6	13.2	9.5	10.0	10.2		12.5 ± 2.5	-0.54
	N8	10.9	11.9	7.3	6.3	9.8	8.9	7.8	6.3	11.6		8.9 ± 2.4	-0.18
	N22	9.4	6.5	5.9	6.7	7.0	6.4	9.4				7.4 ± 1.4	0.03
	N15	10.5	7.7	13.3	14.6	14.2	7.8	14.4	10.2	10.0		11.2 ± 2.9	0.01
total												11.1 ± 3.2	

A Tabela 4 mostra os valores médios ± DP da duração dos ciclos, $v_{\text{méd}}$, v_{min} e $v_{\text{máx}}$ dos nadadores distribuídos por G1, G2 e G3. Verifica-se que as variáveis patentes entre grupos são distintas, detendo G1 as maiores durações cíclicas e as menores $v_{\text{méd}}$, v_{min} e $v_{\text{máx}}$. Isto sugere que os ciclos dos nadadores mais consistentes se relacionam com maiores durações e menores v . Foram obtidas diferenças significativas entre G1 e G2 e G1 e G3 na duração dos ciclos. Estes resultados podem ser influenciados pelo sexo dos sujeitos, visto que dos nove nadadores de G1, apenas um é do sexo masculino, contrariamente a G2 onde

existem quatro e a G3 em que existem cinco. Quanto aos valores de DP, é possível considerar que existe uma certa dispersão da duração dos ciclos de nado em G1 e da $v_{m\acute{a}x}$ em todos os grupos (menor em G1). Como esta dispersão se deverá ao agrupamento dos sujeitos, mesmo sendo muito semelhantes, apresentam-se os resultados individuais das mesmas variáveis nas tabelas seguintes (Tabelas 5, 6, 7 e 8), incluindo os valores de SEM.

Tabela 4. Valores médios \pm DP e respetiva comparação de variáveis biomecânicas dos ciclos da técnica de crol distribuídos por G1, G2 e G3.

Variáveis	G1	G2	G3	Amostra total
d (s) ^{1,2}	1.31 \pm 0.13	1.11 \pm 0.03	1.03 \pm 0.05	1.15 \pm 0.14
$v_{méd}$ (ms ⁻¹)	1.67 \pm 0.10	1.78 \pm 0.12	1.79 \pm 0.11	1.75 \pm 0.12
$v_{m\acute{a}x}$ (ms ⁻¹)	2.08 \pm 0.16	2.16 \pm 0.20	2.18 \pm 0.18	2.14 \pm 0.18
v_{min} (ms ⁻¹)	1.28 \pm 0.13	1.38 \pm 0.07	1.40 \pm 0.14	1.35 \pm 0.12

¹ diferenças entre G1 e G2, ² diferenças entre G1 e G3

Na Tabela 5 constam os valores médios e DP das durações cíclicas de todos os nadadores e respetivos SEM. Denota-se que, no caso de G1, a variação em torno da média é bastante menor do que o sugerido pela Tabela 4, mostrando que o agrupamento dos sujeitos pode induzir a uma interpretação enviesada. Individualmente, os ciclos possuem durações muito similares, sendo as variações existentes na ordem dos centésimos de segundo, como comprovado pelos valores de SEM, que se encontram entre 0.01 e 0.04 s para todos os nadadores de G1, G2 e G3. As oscilações existentes (observadas de ciclo para ciclo) e a tendência da sua duração (demonstrada pelo valor do declive da reta criada para cada nadador) indicam ciclos progressivamente mais lentos (e.g. N9), mais rápidos (e.g. N19) e aleatórios, provavelmente relacionados com o desenvolvimento do nado, constrangimentos do organismo ou com o envolvimento do meio aquático.

Tabela 5. Valores médios \pm DP, declive e SEM da duração dos ciclos da técnica de crol por nadador e G1, G2 e G3.

d (s)	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média \pm DP	slope	SEM
	N9	1.48	1.61	1.43	1.48	1.48	1.68					1.53 \pm 0.09	0.02	0.04
	N19	1.52	1.44	1.53	1.49	1.43						1.48 \pm 0.04	-0.01	0.02
	N16	1.42	1.39	1.42	1.43	1.47						1.43 \pm 0.03	0.01	0.01
	N4	1.42	1.22	1.28	1.29	1.38	1.28	1.25				1.3 \pm 0.07	-0.01	0.03
G1	N13	1.19	1.22	1.26	1.33	1.23	1.24	1.14				1.23 \pm 0.06	0.00	0.02
	N20	1.16	1.14	1.27	1.21	1.21	1.28	1.28	1.22			1.22 \pm 0.05	0.01	0.02
	N12	1.20	1.15	1.21	1.24	1.20	1.23	1.13				1.20 \pm 0.04	0.00	0.02
	N2	1.16	1.16	1.18	1.16	1.27	1.19	1.24	1.21	1.13		1.19 \pm 0.05	0.00	0.01
	N6	1.13	1.18	1.13	1.12	1.18	1.22	1.24	1.18			1.17 \pm 0.05	0.01	0.02
total												1.31 \pm 0.14		0.02
	N5	1.15	1.18	1.13	1.14	1.18	1.18	1.20	1.20			1.17 \pm 0.03	0.01	0.01
	N3	1.03	1.13	1.08	1.17	1.19	1.18	1.23	1.15	1.09		1.14 \pm 0.06	0.01	0.02
	N1	1.07	1.07	1.05	1.06	1.09	1.10	1.16	1.13	1.11	1.21	1.11 \pm 0.05	0.01	0.02
	N11	1.08	1.10	1.11	1.13	1.13	1.07	1.09				1.10 \pm 0.02	0.00	0.01
G2	N14	1.01	1.09	1.13	1.10	1.09	1.13	1.16				1.10 \pm 0.05	0.02	0.02
	N18	1.09	1.10	1.07	1.08	1.11	1.10	1.13	1.14	1.15		1.11 \pm 0.03	0.01	0.01
	N26	1.10	1.08	1.12	1.09	1.08	1.08	1.11				1.10 \pm 0.02	0.00	0.01
	N27	1.07	1.03	1.08	1.10	1.08	1.13	1.11	1.13	1.12	1.07	1.09 \pm 0.03	0.01	0.01
	N10	0.96	1.06	1.08	1.10	1.08	1.09	1.13	1.13			1.08 \pm 0.06	0.02	0.02
total												1.11 \pm 0.03		0.01
	N24	1.08	1.05	1.03	1.05	1.09	1.14	1.11				1.08 \pm 0.04	0.01	0.01
	N21	1.06	1.09	1.06	1.05	1.06	1.04	1.13	1.12			1.08 \pm 0.03	0.00	0.01
	N17	1.08	1.05	1.05	1.07	1.05	1.08	1.10	1.08	1.08		1.07 \pm 0.02	0.00	0.01
	N23	0.98	1.03	1.03	1.08	1.05	1.08	1.08	1.13	1.07		1.06 \pm 0.04	0.01	0.01
G3	N25	1.06	0.98	1.07	1.07	1.05	1.06	1.08	1.03			1.05 \pm 0.03	0.00	0.01
	N7	1.02	1.03	1.01	1.02	1.07	1.03	1.07	1.03	1.11		1.04 \pm 0.03	0.01	0.01
	N8	1.01	0.96	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	1.01		0.98 \pm 0.02	0.00	0.01
	N22	1.02	0.93	0.96	0.98	0.98	1.00	1.03				0.98 \pm 0.03	0.01	0.01
	N15	0.88	0.93	0.95	0.92	0.94	0.93	0.96	0.93	0.97		0.94 \pm 0.03	0.00	0.01
total												1.03 \pm 0.05		0.01

A Tabela 6 apresenta os valores médios e DP da $v_{\text{méd}}$ e respetivos SEM. Nesta variável, e apoiando na interpretação dos valores do declive, denotam-se oscilações positivas e negativas entre os ciclos, decorrentes da alternância entre P e D. A tendência da maioria dos nadadores foi diminuir a $v_{\text{méd}}$ ao longo do nado, apesar dos valores do declive serem mínimos. Os valores de SEM, que se encontram entre 0.01 e 0.03 ms^{-1} , confirmam a confiabilidade da média. Entre os sujeitos as dissemelhanças na $v_{\text{méd}}$ são maiores, podendo justificar-se pela heterogeneidade da amostra, como o sexo, a idade e a especialidade.

Tabela 6. Valores médios \pm DP, declive e SEM da $v_{\text{méd}}$ dos ciclos da técnica de crol por nadador e G1, G2 e G3.

$v_{\text{méd}}$ (ms^{-1})	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média \pm DP	slope	SEM
G1	N9	1.51	1.50	1.48	1.53	1.48	1.42					1.49 ± 0.04	-0.01	0.02
	N19	1.50	1.59	1.56	1.52	1.58						1.55 ± 0.04	0.01	0.02
	N16	1.83	1.81	1.77	1.75	1.76						1.78 ± 0.04	-0.02	0.02
	N4	1.69	1.70	1.64	1.68	1.68	1.68	1.51				1.65 ± 0.07	-0.02	0.03
	N13	1.74	1.73	1.71	1.56	1.70	1.73	1.67				1.69 ± 0.06	-0.01	0.02
	N20	1.76	1.75	1.73	1.71	1.78	1.71	1.67	1.70			1.73 ± 0.04	-0.01	0.01
	N12	1.78	1.71	1.74	1.71	1.71	1.77	1.73				1.74 ± 0.03	0.00	0.01
	N2	1.73	1.69	1.74	1.74	1.68	1.71	1.64	1.67	1.69		1.70 ± 0.04	-0.01	0.01
	N6	1.75	1.72	1.82	1.73	1.73	1.67	1.78	1.70			1.74 ± 0.05	-0.01	0.02
total												1.67 ± 0.10		0.02
G2	N5	1.81	1.79	1.77	1.77	1.74	1.72	1.69	1.68			1.74 ± 0.05	-0.02	0.02
	N3	1.75	1.65	1.71	1.65	1.71	1.70	1.57	1.74	1.66		1.68 ± 0.06	-0.01	0.02
	N1	1.66	1.69	1.72	1.65	1.68	1.65	1.61	1.62	1.63	1.58	1.65 ± 0.04	-0.01	0.01
	N11	1.82	1.80	1.86	1.82	1.83	1.85	1.85				1.83 ± 0.02	0.01	0.01
	N14	1.95	1.91	1.95	1.95	1.94	1.91	1.90				1.93 ± 0.02	-0.01	0.01
	N18	1.72	1.67	1.71	1.71	1.72	1.64	1.65	1.73	1.71		1.70 ± 0.03	0.00	0.01
	N26	2.07	1.98	1.99	1.96	1.99	1.96	1.91				1.98 ± 0.05	-0.02	0.02
	N27	1.71	1.66	1.68	1.66	1.64	1.64	1.71	1.63	1.66	1.74	1.67 ± 0.03	0.00	0.01
	N10	1.87	1.83	1.77	1.80	1.83	1.75	1.76	1.69			1.79 ± 0.06	-0.02	0.02
total												1.78 ± 0.12		0.02
G3	N24	1.96	1.91	1.94	1.88	1.95	1.87	1.83				1.91 ± 0.05	-0.02	0.02
	N21	1.61	1.63	1.67	1.66	1.65	1.61	1.58	1.63			1.63 ± 0.03	0.00	0.01
	N17	1.85	1.77	1.75	1.77	1.75	1.77	1.76	1.78	1.74		1.77 ± 0.03	0.00	0.01
	N23	1.74	1.74	1.69	1.70	1.71	1.71	1.67	1.69	1.73		1.71 ± 0.02	0.00	0.01
	N25	1.92	1.91	1.92	1.91	1.88	1.88	1.91	1.83			1.90 ± 0.03	-0.01	0.01
	N7	1.78	1.74	1.75	1.75	1.70	1.68	1.66	1.69	1.62		1.71 ± 0.05	-0.02	0.02
	N8	1.66	1.71	1.68	1.70	1.72	1.72	1.70	1.69	1.72		1.70 ± 0.02	0.00	0.01
	N22	1.96	1.99	1.91	1.93	1.89	1.87	1.85				1.91 ± 0.05	-0.02	0.02
	N15	1.91	1.87	1.86	1.86	1.83	1.86	1.84	1.87	1.89		1.87 ± 0.02	0.00	0.01
total												1.79 ± 0.11		0.01

Os valores médios e DP da $v_{\text{máx}}$, declive e respetivos SEM encontram-se na Tabela 7. A $v_{\text{máx}}$ atingiu entre 2.08-2.18 ms^{-1} . Pela análise do declive, denotam-se oscilações positivas e negativas entre os ciclos individuais, havendo casos em que se atingem valores de $v_{\text{máx}}$ mais altos ou mais baixos, que expressam a alternância na eficiência das fases propulsivas ou a necessidade de vencer forças resistivas maiores. Os valores de SEM são mínimos (entre 0.02 e 0.09) e DP manifesta variações existentes entre ciclos. Entre nadadores, a $v_{\text{máx}}$ difere possivelmente pela heterogeneidade da amostra.

Tabela 7. Valores médios \pm DP e SEM da $v_{\text{máx}}$ dos ciclos da técnica de crol por nadador e G1, G2 e G3.

$v_{\text{máx}}$ (ms^{-1})	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média \pm DP	slope	SEM
G1	N9	1.80	1.74	1.97	1.71	1.78	1.87					1.81 \pm 0.10	0.01	0.04
	N19	1.78	1.88	2.08	1.77	1.88						1.88 \pm 0.13	0.01	0.06
	N16	2.51	2.56	2.45	2.17	2.10						2.36 \pm 0.21	-0.12	0.09
	N4	2.25	2.11	2.35	2.21	2.18	2.05	2.03				2.17 \pm 0.11	-0.03	0.04
	N13	2.23	2.00	2.10	1.95	1.94	2.12	2.20				2.08 \pm 0.12	0.00	0.04
	N20	1.99	2.07	2.18	2.05	2.13	2.25	2.13	1.99			2.10 \pm 0.09	0.01	0.03
	N12	2.12	2.19	2.33	2.29	2.14	2.33	2.01				2.20 \pm 0.12	-0.01	0.05
	N2	2.11	2.01	2.05	2.02	2.03	2.21	2.02	2.06	2.01		2.06 \pm 0.06	0.00	0.02
	N6	2.30	1.93	2.10	2.05	2.20	1.96	2.07	2.00			2.08 \pm 0.12	-0.02	0.04
total												2.08 \pm 0.16		0.05
G2	N5	2.18	2.11	2.15	2.01	2.02	1.99	1.88	2.03			2.05 \pm 0.10	-0.03	0.03
	N3	2.15	1.96	2.05	1.98	2.15	2.18	2.01	2.18	2.11		2.09 \pm 0.09	0.01	0.03
	N1	2.00	2.29	1.95	1.97	1.96	1.94	2.06	1.81	1.90	1.90	1.98 \pm 0.13	-0.03	0.04
	N11	2.21	2.16	2.33	2.21	2.33	2.53	2.10				2.27 \pm 0.14	0.02	0.05
	N14	2.55	2.50	2.58	2.45	2.60	2.36	2.42				2.49 \pm 0.09	-0.02	0.03
	N18	2.06	1.99	1.93	1.90	2.02	1.85	1.93	1.90	2.07		1.96 \pm 0.08	-0.01	0.03
	N26	2.74	2.40	2.46	2.45	2.34	2.35	2.21				2.42 \pm 0.16	-0.06	0.06
	N27	2.04	2.01	2.00	1.86	2.05	1.99	2.20	1.83	1.88	2.04	1.99 \pm 0.11	-0.01	0.03
	N10	2.10	2.12	2.09	2.47	2.39	2.02	2.21	1.98			2.17 \pm 0.17	-0.01	0.06
total												2.16 \pm 0.20		0.04
G3	N24	2.80	2.46	2.56	2.75	2.67	2.52	2.34				2.58 \pm 0.16	-0.04	0.06
	N21	2.10	1.98	1.98	2.15	2.07	1.82	1.79	2.07			2.00 \pm 0.13	-0.02	0.05
	N17	2.19	2.03	2.20	2.01	2.07	1.99	2.06	2.23	2.05		2.09 \pm 0.09	0.00	0.03
	N23	2.37	2.04	2.01	2.00	2.06	1.92	1.88	2.38	1.92		2.07 \pm 0.19	-0.02	0.06
	N25	2.15	2.58	2.29	2.52	2.22	2.19	2.31	2.14			2.30 \pm 0.17	-0.02	0.06
	N7	2.31	2.09	2.14	2.18	2.37	2.12	2.12	2.05	1.94		2.15 \pm 0.13	-0.03	0.04
	N8	2.15	2.05	1.94	1.83	2.05	1.99	2.00	1.91	2.10		2.00 \pm 0.10	-0.01	0.03
	N22	2.40	2.28	2.18	2.14	2.14	2.18	2.11				2.20 \pm 0.10	-0.04	0.04
	N15	2.21	2.16	2.32	2.38	2.26	2.17	2.25	2.25	2.21		2.25 \pm 0.07	0.00	0.02
total												2.18 \pm 0.18		0.04

A Tabela 8 apresenta os valores médios e DP da v_{min} , declive e respetivos SEM. A v_{min} (entre 1.28-1.40 ms^{-1}) ocorre devido aos movimentos cíclicos menos propulsivos e difere entre ciclos gestuais. Assim, é possível realçar variações entre os ciclos individuais, destacando os casos em que se atingem valores mais altos, mais baixos ou que aumentam e diminuem a cada ciclo de nado. Não obstante e tal como anteriormente, são alterações ligeiras e a tendência da v_{min} ao longo dos ciclos sugere a capacidade do nadador em se manter quase constante durante o nado.

Tabela 8. Valores médios \pm DP e SEM da v_{\min} dos ciclos da técnica de crol por nadador e G1, G2 e G3.

v_{\min} (ms^{-1})	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média \pm DP	slope	SEM
G1	1.20	1.26	1.12	1.26	1.08	0.50					1.07 ± 0.29	-0.11	0.12
	1.14	1.14	1.17	1.29	1.30						1.21 ± 0.08	0.05	0.04
	1.12	1.29	1.21	1.19	1.28						1.21 ± 0.07	0.02	0.03
	1.40	1.19	1.18	1.08	0.99	1.20	0.83				1.12 ± 0.18	-0.07	0.07
	1.35	1.44	1.38	1.17	1.36	1.48	1.35				1.36 ± 0.10	0.00	0.04
	1.52	1.52	1.38	1.40	1.45	1.45	1.35	1.41			1.43 ± 0.06	-0.02	0.02
	1.49	1.17	1.30	1.30	1.42	1.42	1.43				1.36 ± 0.11	0.02	0.04
	1.39	1.32	1.45	1.51	1.20	1.39	1.42	1.28	1.42		1.37 ± 0.09	0.00	0.03
	1.31	1.33	1.59	1.22	1.37	1.38	1.41	1.41			1.38 ± 0.11	0.00	0.04
total											1.28 ± 0.13		0.05
G2	1.33	1.32	1.38	1.51	1.39	1.35	1.46	1.24			1.37 ± 0.09	0.00	0.03
	1.35	1.46	1.47	1.07	1.34	1.10	1.16	1.34	1.39		1.30 ± 0.15	-0.01	0.05
	1.21	1.32	1.46	1.27	1.44	1.36	1.19	1.39	1.33	1.18	1.31 ± 0.1	0.00	0.03
	1.54	1.38	1.43	1.52	1.16	1.19	1.51				1.39 ± 0.16	-0.03	0.06
	1.43	1.49	1.41	1.39	1.34	1.45	1.47				1.43 ± 0.05	0.00	0.02
	1.40	1.40	1.41	1.43	1.48	1.38	1.28	1.34	0.84		1.33 ± 0.19	-0.05	0.06
	1.48	1.55	1.59	1.40	1.38	1.60	1.67				1.52 ± 0.11	0.01	0.04
	1.44	1.27	1.33	1.30	1.18	1.24	1.47	1.44	1.39	1.49	1.36 ± 0.11	0.01	0.03
	1.62	1.45	1.24	1.22	1.48	1.37	1.37	1.23			1.37 ± 0.14	-0.03	0.05
total											1.38 ± 0.07		0.04
G3	1.24	1.29	1.46	1.35	1.42	1.21	1.27				1.32 ± 0.09	0.00	0.04
	1.25	1.29	1.23	1.22	1.23	1.24	1.32	1.31			1.26 ± 0.04	0.01	0.01
	1.48	1.39	1.35	1.16	1.44	1.35	1.28	1.31	1.30		1.34 ± 0.1	-0.01	0.03
	1.24	1.29	1.10	1.25	1.28	1.40	1.34	1.14	1.45		1.28 ± 0.11	0.02	0.04
	1.59	1.59	1.70	1.41	1.46	1.58	1.50	1.51			1.54 ± 0.09	-0.02	0.03
	1.33	1.10	1.30	1.37	1.38	1.32	1.28	1.37	1.22		1.30 ± 0.09	0.00	0.03
	1.37	1.34	1.42	1.47	1.45	1.47	1.52	1.44	1.41		1.43 ± 0.06	0.01	0.02
	1.70	1.79	1.76	1.68	1.64	1.66	1.53				1.68 ± 0.09	-0.03	0.03
	1.43	1.67	1.33	1.42	1.29	1.58	1.29	1.55	1.57		1.46 ± 0.14	0.00	0.05
total											1.40 ± 0.14		0.03

De forma a realizar uma análise das oscilações de v_{\min} e v_{\max} que não tenha em conta o sexo, a idade e a especialidade dos nadadores, procedeu-se à investigação dos seus valores percentuais. Este procedimento permite indicar a possível existência de um padrão cíclico, mostrado pela manutenção de valores de v_{\max} e v_{\min} relativas ao longo do nado. Na Tabela 9 encontram-se os valores percentuais e o declive da v_{\max} de todos os nadadores. Individualmente, encontram-se v_{\max} relativas dissemelhantes entre ciclos, sendo possível identificar a tendência maioritariamente negativa, mas próxima de zero, ou seja,

os valores da $v_{\text{máx}}$ diminuíram ligeiramente ao longo do nado. Apesar de se verificarem valores aproximados, foram encontradas diferenças significativas entre os grupos de análise, sugerindo que G1 é o grupo que atingiu v mais altas.

Tabela 9. Percentagem e declive da $v_{\text{máx}}$ dos ciclos da técnica de crol por nadador e G1, G2 e G3.

$v_{\text{máx}}$ (%) 1, 2, 3	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média \pm DP	slope
G1	N9	118.77	115.92	133.86	111.80	120.50	131.49					122.06 \pm 8.77	1.58
	N19	119.01	118.20	133.53	116.49	118.90						121.23 \pm 6.95	-0.19
	N16	136.66	141.81	138.94	124.10	119.37						132.18 \pm 9.85	-5.23
	N4	132.86	124.39	143.29	131.40	129.97	121.91	134.76				131.23 \pm 7.02	-0.45
	N13	128.11	115.95	122.64	124.99	114.02	122.60	131.60				122.85 \pm 6.25	0.54
	N20	112.98	117.78	125.57	119.76	119.59	131.98	127.29	116.56			121.44 \pm 6.29	1.09
	N12	119.39	127.66	133.99	134.23	124.67	131.87	116.38				126.88 \pm 7.08	-0.35
	N2	122.04	118.78	117.41	116.27	121.08	129.17	123.39	123.77	118.65		121.17 \pm 3.98	0.44
	N6	131.31	112.18	115.45	118.79	127.56	117.89	115.73	117.27			119.52 \pm 6.51	-0.77
total												123.94 \pm 7.69	
G2	N5	120.78	118.41	121.63	113.73	115.99	116.16	111.66	120.40			117.34 \pm 3.57	-0.60
	N3	122.95	119.34	120.11	119.95	125.77	128.73	128.11	124.83	127.27		124.12 \pm 3.67	0.98
	N1	120.51	135.35	113.84	119.49	116.98	117.56	128.38	111.55	117.02	120.50	120.12 \pm 6.99	-0.68
	N11	121.14	120.00	124.84	121.15	127.12	137.02	113.65				123.56 \pm 7.28	0.50
	N14	130.68	131.00	132.40	125.86	134.05	123.61	127.25				129.26 \pm 3.77	0.84
	N18	119.64	119.07	113.26	111.70	117.08	112.49	116.80	110.10	120.83		115.66 \pm 3.87	-0.24
	N26	131.95	121.30	123.64	124.73	117.76	119.70	115.80				122.13 \pm 5.34	-2.05
	N27	119.73	121.23	119.27	111.96	124.84	120.87	128.67	112.23	113.77	117.73	119.03 \pm 5.39	-0.60
	N10	112.38	115.94	118.24	137.21	130.64	115.16	125.67	117.12			121.55 \pm 8.72	0.78
total												121.14 \pm 6.53	
G3	N24	142.78	128.37	132.03	146.57	136.94	134.54	127.53				135.53 \pm 7.13	-1.02
	N21	130.68	121.79	119.06	129.70	125.36	113.03	113.55	126.90			122.51 \pm 6.85	-1.07
	N17	117.98	115.17	125.73	113.28	118.47	112.23	117.05	125.05	118.23		118.13 \pm 4.66	0.20
	N23	135.74	117.36	118.87	117.69	120.47	112.33	112.28	140.96	111.39		120.79 \pm 10.54	-0.75
	N25	111.72	135.23	119.06	131.90	118.00	116.75	120.95	116.83			121.3 \pm 8.06	-0.67
	N7	129.93	120.32	122.25	124.01	139.40	126.09	127.47	120.81	119.66		125.55 \pm 6.25	-0.45
	N8	128.92	119.51	115.23	107.61	119.25	116.19	117.36	113.13	122.51		117.75 \pm 5.98	-0.53
	N22	122.86	114.50	113.80	110.55	113.14	116.23	114.53				115.09 \pm 3.84	-0.79
	N15	115.85	115.42	124.54	128.00	123.51	116.88	122.32	120.11	117.25		120.43 \pm 4.42	0.07
total												121.72 \pm 8.27	

¹ diferenças entre G1 e G2, ² diferenças entre G1 e G3, ³ diferenças entre G2 e G3

Na Tabela 10 encontram-se os valores percentuais e o declive da v_{min} da amostra. De forma individual, denota-se variação entre os ciclos, sugerindo o valor do declive da maioria dos nadadores uma tendência do aumento da v_{min} em relação à média, ainda que aproximado de zero. Assim, verifica-se uma boa

capacidade do nadador em se adaptar às alterações de P e D, contrariamente aos que tenderam a diminuir. Entre todos os grupos foram encontradas diferenças significativas, demonstrando que G3 possui melhores valores de V_{min} em relação à média. Conforme as tabelas 9 e 10, denota-se que G1 apresenta maiores oscilações da v dado que apresentou valores mais afastados de V_{med} .

Tabela 10. Percentagem e declive da V_{min} dos ciclos da técnica de crol por nadador e G1, G2 e G3.

V_{min} (%) 1, 2, 3	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média ± DP	slope
G1	N9	79.39	83.81	75.82	82.61	73.16	35.29					71.68 ± 18.27	-7.01
	N19	76.04	71.88	74.74	85.21	82.40						78.05 ± 5.55	2.60
	N16	60.83	71.06	68.25	68.20	72.76						68.22 ± 4.56	2.10
	N4	82.95	69.95	71.78	63.89	58.99	71.09	54.83				67.64 ± 9.32	-3.39
	N13	77.53	83.52	80.23	75.16	80.21	85.58	81.12				80.48 ± 3.48	0.53
	N20	86.27	86.73	79.80	81.74	81.24	85.00	80.36	82.51			82.96 ± 2.69	-0.51
	N12	83.76	68.06	74.44	76.10	82.61	80.20	82.95				78.3 ± 5.75	1.07
	N2	80.51	78.16	82.92	86.61	71.34	81.46	86.87	76.54	83.96		80.93 ± 5.00	0.19
	N6	74.54	77.22	87.70	70.54	79.25	82.99	79.11	82.90			79.28 ± 5.36	0.74
total												76.98 ± 8.92	
G2	N5	73.66	74.08	78.06	85.59	80.07	78.48	86.75	73.47			78.77 ± 5.19	0.69
	N3	77.10	88.72	86.14	65.14	78.12	65.04	74.12	76.88	83.78		77.23 ± 8.36	-0.55
	N1	73.16	78.06	84.82	77.28	85.63	82.62	73.78	85.67	81.50	75.00	79.75 ± 4.92	0.19
	N11	84.64	76.74	76.66	83.27	63.22	64.19	81.50				75.75 ± 8.77	-1.71
	N14	73.28	78.28	72.32	71.58	69.33	75.94	77.07				73.97 ± 3.23	0.13
	N18	81.34	83.83	82.39	83.70	85.94	83.73	77.61	77.81	48.86		78.36 ± 11.41	-2.63
	N26	71.37	78.03	80.12	71.30	69.45	81.54	87.16				77.00 ± 6.53	1.56
	N27	84.27	76.79	79.50	78.13	71.99	75.52	86.17	88.35	83.81	85.60	81.01 ± 5.37	0.81
	N10	86.76	79.38	69.97	67.92	81.16	77.86	77.87	72.47			76.67 ± 6.23	-0.85
total												77.85 ± 6.99	
G3	N24	63.06	67.20	75.57	72.07	72.70	64.73	69.21				69.22 ± 4.52	0.38
	N21	77.66	79.01	73.52	73.40	74.48	76.79	83.68	80.09			77.33 ± 3.57	0.61
	N17	79.91	78.70	76.98	65.15	82.53	76.28	72.98	73.79	75.14		75.72 ± 4.97	-0.51
	N23	71.16	74.05	64.90	73.47	74.74	81.57	79.81	67.33	83.80		74.54 ± 6.33	1.14
	N25	82.92	83.02	88.75	73.85	77.48	84.05	78.39	82.37			81.35 ± 4.60	-0.45
	N7	74.85	63.56	74.17	77.81	81.03	78.69	76.69	80.73	75.19		75.86 ± 5.23	0.97
	N8	82.46	78.02	84.38	86.42	84.43	85.84	89.41	85.19	81.90		84.23 ± 3.21	0.48
	N22	87.14	89.86	91.94	86.96	86.70	88.53	82.93				87.72 ± 2.83	-0.73
	N15	75.01	89.00	71.43	76.32	70.53	84.97	69.99	82.60	83.19		78.12 ± 7.00	0.32
total												78.19 ± 6.84	

¹ diferenças entre G1 e G2, ² diferenças entre G1 e G3, ³ diferenças entre G2 e G3

Os valores de SEM para a duração dos ciclos, $v_{\text{méd}}$, v_{min} , $v_{\text{máx}}$, durações das fases de nado e ação descendente dos MI dos nadadores distribuídos por G1, G2 e G3 constam na Tabela 11. É possível constatar que os valores de SEM para a duração dos ciclos, $v_{\text{méd}}$, v_{min} e $v_{\text{máx}}$ também demonstram variações pequenas nos resultados obtidos para grupos. Verifica-se que a alteração das restantes variáveis é muito pequena, ou seja, os dados são aproximados, possuindo uma boa confiabilidade da média e, por conseguinte, permitindo confirmar uma variação mínima das variáveis em relação à média entre os ciclos dos nadadores na técnica de crol.

Tabela 11. Valores de SEM das variáveis biomecânicas e coordenativas por G1, G2 e G3.

SEM	G1	G2	G3	Amostra total
d (s)	0.05	0.01	0.02	0.03
$v_{\text{méd}}$ (ms^{-1})	0.03	0.04	0.04	0.02
v_{min} (ms^{-1})	0.05	0.07	0.06	0.04
$v_{\text{máx}}$ (ms^{-1})	0.04	0.02	0.05	0.02
d_E (s)	0.02	0.01	0.01	0.01
d_{AD} (s)	0.01	0.01	0.01	0.01
d_{ALI} (s)	0.01	0.01	0.01	0.01
d_{AA} (s)	0.01	0.01	0.01	0.01
d_R (s)	0.08	0.08	0.01	0.01
MI_1 (%)	3.40	3.04	4.75	2.20
MI_2 (%)	1.37	2.54	1.72	1.09
MI_3 (%)	2.71	3.17	6.16	2.49
MI_4 (%)	1.84	2.66	2.93	1.43
MI_5 (%)	2.77	3.11	3.36	1.78
MI_6 (%)	2.51	2.77	2.02	1.40

Na Figura 9 estão apresentados os valores médios e DP da duração das fases do ciclo entre grupos. A fase de entrada constitui entre 18 (G3) e 21% (G1) do ciclo, a ação descendente 13 (G1) a 14% (G3), a ação lateral interior 16 (G1) a 19% (G2), a ascendente 20 (G1) a 25% (G3) e a recuperação 26%. As ações descendente, lateral interior e recuperação caracterizam-se por durações muito similares entre grupos. Denota-se que as fases não propulsivas são as mais

longas, integrando entre 57 (G3) a 64% (G1) do ciclo. G1 apresenta uma fase de entrada maior e com diferenças significativas entre G1 e G2 e entre G1 e G3.

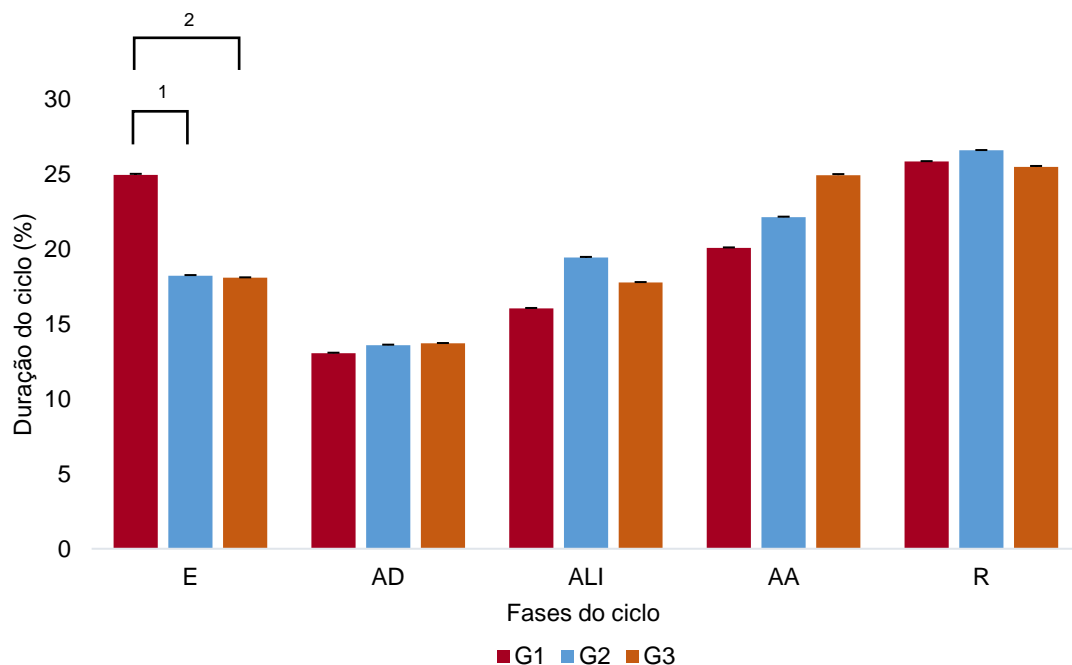


Figura 9. Valores médios \pm DP da duração das fases do ciclo obtidos entre G1, G2 e G3.

¹ diferenças entre G1 e G2, ² diferenças entre G1 e G3

A Tabela 12 representa a duração relativa das fases propulsivas e não propulsivas e o declive de G1, G2 e G3, em que não foram encontradas diferenças significativas entre grupos. As fases propulsivas representam 36 a 43% do ciclo, sendo de destacar a preponderância das não propulsivas (de 57 a 64%). Os declives da reta formada pelos valores médios da duração relativa das fases propulsivas nos grupos revelam ter-se mantido constantes ao longo do nado, tendo G1 sofrido um ligeiro aumento. Nas fases não propulsivas a ocorrência foi idêntica.

Tabela 12. Valores médios \pm DP e declive da duração relativa das fases propulsivas e não propulsivas dos ciclos da técnica de crol por G1, G2 e G3.

Variáveis	G1	G2	G3	Amostra total
FP (%)	36 \pm 3	42 \pm 2	43 \pm 5	40 \pm 0.03
slope	0.01	0.00	0.00	
FNP (%)	64 \pm 7	58 \pm 7	57 \pm 6	60 \pm 6
slope	0.00	0.00	0.00	

Os nadadores adotaram a sincronização de seis ações de MI por ciclo, com exceção de apenas um sujeito (especialista em provas de fundo), que realizou quatro. Os valores médios e DP dos momentos no ciclo gestual em que ocorreram as ações descendentes de MI encontram-se na Tabela 13. As ações de MI estão distribuídas similarmente ao longo do ciclo. Foram encontradas diferenças significativas entre G1 e G2 em MI₄ e MI₆, e entre G1 e G3 na ação de MI₅, tendo G1 realizado ações mais antecipadas relativamente à duração do ciclo. A Figura 10 ilustra a progressão das ações de MI obtidas em G1 e G3.

Tabela 13. Valores médios \pm DP e respetiva comparação dos momentos das ações de MI entre G1, G2 e G3.

Variáveis	G1	G2	G3	Amostra total
MI ₁ (%)	7.8 \pm 4.7	8.6 \pm 3.2	11.6 \pm 3.3	8.9 \pm 3.8
MI ₂ (%)	21.4 \pm 4.5	24.2 \pm 3.2	24.5 \pm 2.3	23.4 \pm 3.6
MI ₃ (%)	41.3 \pm 3.9	42.9 \pm 4.2	42.9 \pm 3.0	42.4 \pm 3.7
MI ₄ (%) ¹	54.1 \pm 3.2	58.2 \pm 4.0	57.9 \pm 2.6	56.7 \pm 3.7
MI ₅ (%) ²	71.1 \pm 2.9	74.4 \pm 3.1	75.9 \pm 2.9	73.7 \pm 3.5
MI ₆ (%) ¹	87.9 \pm 3.4	91.8 \pm 2.4	91.4 \pm 3.9	90.3 \pm 3.6

¹ diferenças entre G1 e G2, ² diferenças entre G1 e G3

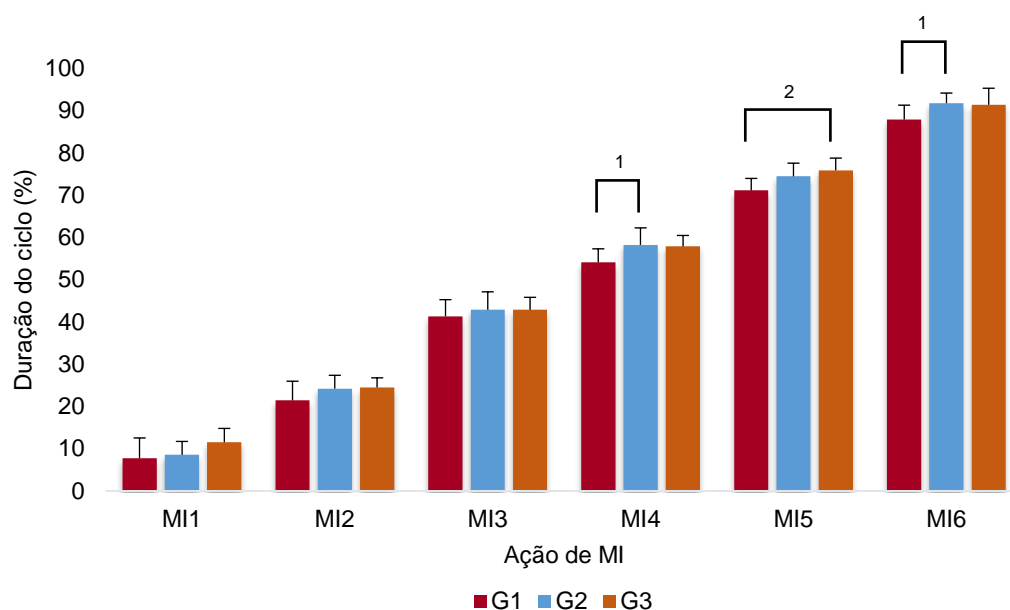


Figura 10. Valores médios \pm DP dos momentos de cada ação descendente de MI no ciclo obtidos para G1, G2 e G3.

¹ diferenças entre G1 e G2, ² diferenças entre G1 e G3

Na Tabela 14 estão presentes os valores médios e DP da FG, DC, IB e IdC para G1, G2 e G3. Os nadadores mais consistentes apresentam menores valores de FG e maiores de DC e IB, tendo-se obtido diferenças significativas entre todos os grupos para a FG e entre G1 e G2 e entre G2 e G3 para a DC. O IdC caracteriza a coordenação entre MS como oposição em todos os grupos. Este modo de coordenação é caracterizado por uma propulsão ininterrupta entre os MS (Chollet et al., 2000). O DP mostra uma grande similaridade entre os nadadores de cada grupo.

Tabela 14. Valores médios \pm DP e respetiva comparação da FG, DC, IB e IdC entre G1, G2 e G3.

Variáveis	G1	G2	G3	Amostra total
FG (ciclo.s ⁻¹) ^{1,2,3}	0.78 \pm 0.08	0.90 \pm 0.02	0.97 \pm 0.05	0.88 \pm 0.10
DC (m.ciclo) ^{1,2}	2.18 \pm 0.18	1.97 \pm 0.13	1.84 \pm 0.13	2.00 \pm 0.20
IB (m ² .s ⁻¹ .ciclo)	3.66 \pm 0.38	3.51 \pm 0.46	3.31 \pm 0.40	3.49 \pm 0.43
IdC (%)	-0.10 \pm 0.04	-0.10 \pm 0.06	-0.10 \pm 0.08	-0.10 \pm 0.07

¹ diferenças entre G1 e G2, ² diferenças entre G1 e G3, ³ diferenças entre G2 e G3 (p < 0.05)

4. Discussão

Investigadores e treinadores buscam constantemente métodos mais fiáveis de diagnosticar a eficiência propulsiva dos seus nadadores. A biomecânica encerra um papel decisivo para a avaliação da performance, sendo a descrição do movimento uma das suas preocupações e, conseqüentemente, a determinação das variáveis referentes a mudanças de posição do corpo humano (Amadio, 1996). Através da análise das curvas de v , sabe-se que existe perda de força propulsiva durante uma certa fase do ciclo de nado quando exibem grandes desacelerações da v ou quando as acelerações não são tão altas quanto se esperava (Maglischo et al., 1987). Portanto, parece-nos importante conhecer o mais aprofundadamente possível a cinemática dos ciclos, desde a sua variação à sua consistência (Seifert et al., 2014), tendo sido objetivo do presente estudo determinar a possível existência do ciclo típico da v na técnica de crol.

Um ciclo gestual é caracterizado por acelerações e desacelerações (Karpovich, 1930), sendo expressas pelas \dot{v} . A sua determinação pode ser realizada por um ponto anatómico fixo, normalmente a anca, ou através do deslocamento do CM. Os métodos baseados na cinemática de um ponto anatómico fixo encontrados na literatura, denominados mecânicos, utilizam medidores de v que têm vindo a evoluir desde Karpovich & Karpovich (1970) a Lima et al. (2006). Estes procedimentos são bastante simples e fornecem resultados imediatos, permitindo dar feedbacks em tempo real. Os métodos da cinemática do CM baseiam-se na digitalização de imagens, sendo caracterizados pela sua maior validade (Psycharakis & Sanders, 2009). Porém, dada a necessidade de marcação de muitos pontos anatómicos e maior número de câmaras (entre outros procedimentos), é uma metodologia complexa e morosa, além de haver uma maior possibilidade de ocorrência de erros de digitalização devido à qualidade das imagens (e.g. distorções e bolhas de água; Barbosa et al, 2013; Figueiredo et al., 2009).

Quando se compararam estas metodologias, observou-se um atraso temporal entre os picos de v do ponto anatómico e do CM, e que a amplitude de valores da v instantânea é ligeiramente maior para a anca do que para o CM na técnica de crol (Figueiredo et al., 2009; Psycharakis & Sanders, 2009). No entanto,

apresentam o mesmo perfil (Fernandes et al., 2012; Psycharakis & Sanders, 2009) e as correlações entre as duas curvas de deslocamento são significativas (Maglischo et al., 1987). Assim, tendo em conta os prós e os contras de cada metodologia, para este estudo optou-se pela utilização da anca, visto que a preocupação se centra na cinemática de nado, permitindo uma avaliação apropriada.

A metodologia do presente estudo também envolve digitalização de imagens, onde foi feita a calibração das câmaras e do espaço, a marcação da anca do nadador e a obtenção dos valores da v . A diferença reside na utilização de apenas duas câmaras de simples acesso (poupando na quantidade e complexidade do procedimento experimental), ser necessário digitalizar apenas um ponto anatómico ao longo do nado, eliminar a necessidade de sincronização das imagens com o velocímetro (evitando erros de cálculo por atrasos temporais), permitir a identificação de qualquer movimento do nado que se queira estudar e o cálculo de qualquer variável, e possibilitar a análise das do nado em mais do que a distância do local de avaliação. Portanto, pareceu-nos apropriado utilizar esta metodologia para o estudo em causa.

A avaliação realizada no presente estudo consistiu num sprint de 25 m em intensidade máxima, cujo esforço se aproxima com o de provas de 50 e 100 m. A amostra do presente estudo é constituída por nadadores de curtas e longas distâncias uma vez que, a máxima intensidade, velocistas e fundistas utilizam as mesmas estratégias de prova para otimizar a performance de nado, não diferindo na $v_{méd}$ horizontal, FG e DC (McCabe et al., 2011). Os ajustes que os nadadores realizam devem-se a questões fisiológicas e características do movimento, e não à sua especialidade. Relativamente às fases do ciclo, os nadadores velocistas realizam a ação lateral interior mais rapidamente que os nadadores de distância longa, possivelmente devendo-se à maior v da mão e aos movimentos que asseguram repetidamente as forças propulsivas (McCabe et al., 2011). Considerando o supracitado, não nos pareceu que a junção de nadadores de diferentes especialidades fossem interferir com o objetivo e resultados obtidos no estudo, pelo que a presente amostra incluiu velocistas e fundistas.

Tendo em conta a intenção de caracterizar o ciclo típico da v na técnica de crol, foi essencial assegurar que os nadadores realizavam cada ciclo o mais identicamente possível. A respiração para o lado preferencial em nadadores de elite (Seifert et al. 2005), quando realizada em repetições de 25 m a máxima intensidade (Couto et al., 2015), não alterava a sua coordenação dos MS, FG, DC ou v, exceto quando alternavam para o lado não preferencial (Seifert et al., 2008). Como no presente estudo não foi dada instrução sobre um padrão respiratório específico, os nadadores que inspiraram realizaram a respiração consoante a necessidade e a preferência lateral. Deste modo, partiu-se do pressuposto que os ciclos realizados não seriam diferentes.

A inspeção visual de vídeos de nadadores de competição é uma metodologia de avaliação da técnica de nado (Schleihauf, 1983), tendo-se identificado curvas bimodais e trimodais no presente estudo. O tipo bimodal demonstra duas inflexões associadas às ações de MS direito e esquerdo (cf. Miyashita; 1971; Fernandes et al., 2012; Barbosa et al., 2013). Estas acelerações positivas observadas ocorreram durante a ação lateral interior e ascendente do MS direito (coincidente com a entrada do MS esquerdo), e durante as mesmas ações do MS oposto. Foram ainda observadas perdas de velocidade que ocorreram durante a transição entre as fases propulsivas e na ação descendente, coincidente com a fase de recuperação do MS oposto (cf. Fernandes et al., 2012).

As mesmas acelerações e desacelerações foram evidenciadas no tipo de curva trimodal, com a adição de um pico de v entre os anteriores mencionados. Pela análise da Figura 6, a curva central poderá dever-se a uma mais potente ação lateral interior (N1, N10, N15, N3, N17, N21), onde é dada uma maior ênfase à primeira ação propulsiva do ciclo, fazendo com que o traçado da curva expresse esta aceleração positiva. Caso contrário, poderá dever-se à ação conjunta de várias ações do nado (painéis N4, N14, N16, N18 e N23), sugerindo associar-se à coordenação de várias ações do ciclo que imprimem uma v capaz de vencer D, como a junção das fases de ambos os MS com as de MI.

A variabilidade do movimento humano pode ser definida como as variações típicas presentes na performance motora, sendo observadas em múltiplas

repetições da tarefa, na medida em que a repetição de um ato envolve respostas neurais e motoras únicas e não repetitivas (Stergiou & Kyvelidou, 2013). “Padrão” é algo que serve de referência (Dicionário Priberam da Língua Portuguesa, 2019), uma regularidade que se repete previsivelmente, mas, na natureza, estes padrões denominam-se caóticos pelo facto de nunca se repetirem exatamente da mesma forma (Stergiou & Kyvelidou, 2013). Embora se observe uma dissemelhança entre as curvas da *v* do próprio sujeito e haja variação em *v* e tempo (pois cada ciclo descreve valores diferentes entre si), a exibição de duas acelerações positivas pode ser considerada um indício de tipicidade.

Complementarmente, como em todas as curvas médias individuais entre nadadores, também se notam duas oscilações positivas associadas às fases propulsivas e oscilações negativas, referentes às fases não propulsivas, provando-se, mais uma vez, a possível existência do ciclo típico da *v* na técnica crol. A existência de variabilidade individual era expectável devido à influência da individualidade do nadador, o sexo, a idade, a especialidade, os anos de prática (entre outros; Silva et al., 2019), que são fatores indutores de variação. Adicionalmente, vários padrões coordenativos podem ser encontrados para o alcance de um mesmo objetivo face à dinâmica intrínseca do indivíduo (Silva, 2016). Estas variações foram observáveis pelo método da inspeção visual.

Relativamente ao comportamento da *v* correspondente aos momentos em que ocorrem as fases do ciclo, as ações propulsivas não traduzem impreterivelmente um aumento de *v* e vice-versa (cf. Figura 6, e.g. painéis N2, N5, N25, N8, N9, N11, N13 e N22). Assim, pode-se colocar em hipótese que as diferenças observadas se deverão a diferentes aplicações da força nas fases do ciclo, a uma inabilidade técnica do nadador (não prevalecendo os deslocamentos segmentares), a ações simultâneas que produzem oscilações da *v*, à sua individualidade ou aos constrangimentos do movimento humano (organismo, ambiental e tarefa; Seifert et al., 2007).

Ainda com o objetivo de determinar o ciclo típico da técnica de crol e recorrendo às metodologias quantitativas, a hipótese inicial foi considerar que as curvas dos ciclos seriam consistentes, ou seja, que a curva média seria representativa das

curvas individuais. De forma a comparar nadadores de diferentes níveis de consistência, a amostra foi dividida em três grupos. Para estabelecer uma relação entre os tipos de curva apresentados anteriormente e a sua distribuição pelos grupos de análise, realizou-se o teste Qui-Quadrado de Pearson. Os resultados obtidos demonstraram que a distribuição não é significativa, ou seja, a maior ou menor correlação entre os ciclos é independente do tipo de curva apresentado por cada nadador e, portanto, não se poderá considerar que a variação observada seja resultado da tipicidade bimodal ou trimodal.

As formas de se proceder ao cálculo das viv passam pelo valor da diferença entre a $v_{m\acute{a}x}$ e $v_{m\acute{i}n}$ (Psycharakis & Sanders, 2009), pela relação entre a $v_{m\acute{e}d}$ e a diferença entre $v_{m\acute{i}n}$ e $v_{m\acute{a}x}$ (Payton & Wilcox, 2006), por um número de Strukhal transformado (Vilas-Boas, 1996), pela relação entre a $v_{m\acute{e}d}$ intracíclica e as $v_{m\acute{i}n}$ e $v_{m\acute{a}x}$ de várias ações de MI e MS (Leblanc et al., 2007) e pelo CV (Alberty et al., 2005; Barbosa et al., 2005; Schnitzler et al., 2010). De acordo com o objetivo deste estudo, considerou-se utilizar o CV para comparação entre ciclos, visto ser o método matemático mais sensível à $v_{m\acute{e}d}$ e à dispersão da v instantânea durante o ciclo para avaliação das viv, e, portanto, mais preciso (Vilas-Boas et al., 2011). Apesar de ser um preditor de eficiência, não nos fornece a informação sobre a distribuição da v no ciclo e, por isso, optou-se pelas estatísticas de Cc_x e Cc_{auto} para investigação de padrões das curvas de v da técnica de crol.

Foi calculado o Cc_x , que compara a curva média com cada curva individual do nado. No caso das curvas demonstrarem pouca consistência entre si, calculou-se o Cc_{auto} que mostra a relação entre as curvas individuais, sendo sensível ao seu comportamento ao longo do nado. O cálculo destes coeficientes pode ser de extrema relevância para a análise e interpretação do desenvolvimento dos ciclos ao longo do nado. A sua comparação individualmente com o ciclo médio (Cc_x) permite identificar a sua similaridade e manutenção ao longo do nado, podendo retirar-se um padrão. Caso contrário, poderá sugerir uma variação entre ciclos, como alterações da v , da técnica, dos sistemas bioenergéticos, entre outros. Por isso, recorreu-se ao cálculo do Cc_{auto} , que compara os ciclos consecutivamente entre si e permite identificar graficamente se a variação existente é progressiva.

Os nadadores de G1, além de apresentarem maiores correlações dos ciclos com a média, também apresentam ao longo do nado, sugerindo uma alta consistência e repetição. Esta consistência é revelada por uma execução tão idêntica dos ciclos que a média os poderia representar. No caso de G2 e G3, os nadadores possuem uma menor consistência dos ciclos, indicando haver variação entre si, mas o valor de C_{auto} é alto. Isto significa que a v dos ciclos vai variando ao longo do nado, mas mantém-se um padrão de repetição. Um resultado interessante é o facto de nadadores mais rápidos possuírem maior inconsistência entre ciclos de nado. Deste modo, sugere-se que os melhores nadadores estejam associados a uma melhor adaptação às variações de P e D durante o nado (Psycharakis et al., 2010).

Relativamente à quantificação das variáveis biomecânicas e coordenativas, a sua consistência intrassujeito foi calculada pelo erro padrão da média, que se caracteriza como um indicador da precisão de um resultado (Weir, 2005). Esta estatística funciona como um índice de confiabilidade, usando as mesmas unidades de medida da variável em causa e deve ser interpretada em avaliações de resultados do mesmo sujeito. Assim, verificou-se a existência de valores baixos de erro-padrão, indicando que os valores brutos das variáveis em estudo revelam proximidade com a média.

As viv caracterizam a habilidade dos nadadores em coordenar as forças propulsivas (Vilas-Boas, 1996), sendo que quanto menor o seu valor, melhor a sua eficiência (Schnitzler et al., 2010). Os resultados obtidos no presente estudo demonstram o bom nível da amostra. Comparando com os existentes na literatura, verifica-se que foram inferiores aos encontrados por Schnitzler et al. (2008) e Schnitzler et al. (2010), mas idênticos aos de Alberty et al. (2005) e Matsuda et al. (2014) ($viv \sim 11\%$) em nadadores bem treinados e de elite. Os grupos de estudo apresentaram valores de viv similares entre si, confirmando que a amplitude de valores da v instantânea não fornece informação da sua distribuição no ciclo. Além disso, diferentes nadadores (mais lentos e mais rápidos, e.g.) podem ter as mesmas viv .

Os ciclos duraram entre 1.03-1.31 s, tendo G1 os maiores ciclos relativamente a G2 e G3. Além disso, a duração foi maioritariamente maior ao longo do nado em

todos os grupos. Os valores de $v_{\text{méd}}$ obtidos estão em concordância com a literatura para nado em sprint e nadadores de elite (Chollet et al., 2000; Schnitzler et al. 2008; McCabe et al., 2011), havendo maiores semelhanças com a v dos G2 e G3 do presente estudo ($v_{\text{méd}} \sim 1.8 \text{ ms}^{-1}$). Como já referido anteriormente, G1 possui apenas um nadador do sexo masculino que pode interferir com a $v_{\text{méd}}$ comparativamente a G2 e G3. A $v_{\text{méd}}$ de G1 assemelha-se aos resultados obtidos no estudo de Schnitzler et al. (2008) para nadadoras. Ao longo do nado, a $v_{\text{méd}}$ foi diminuindo na maioria dos nadadores. A relação entre uma $v_{\text{méd}}$ alta e uma v baixa foi encontrada por Barbosa et al. (2006).

Apesar de se terem obtido valores de declive muito próximos de zero, a $v_{\text{máx}}$ foi progressivamente menor na maioria dos nadadores ao longo dos ciclos e a v_{min} maioritariamente constante e maior. Os valores percentuais encontrados no presente estudo foram idênticos aos de Alberty et al (2005) e Craig & Pendergast (1979), mas mais distantes da $v_{\text{méd}}$ que os obtidos por Psycharakis et al (2010), tendo havido uma tendência da $v_{\text{máx}}$ e v_{min} para se aproximarem da $v_{\text{méd}}$. É lógico esperar que vá havendo uma incapacidade de gerar força máxima para atingir as $v_{\text{máx}}$ ao longo do nado pois a técnica de nado vai deteriorando devido a fatores como a fadiga. Nos primeiros oito segundos de um esforço máximo situa-se o primeiro limiar de fadiga que corresponde à mudança do sistema anaeróbio alático para lático (Soares et al., 2006). Com base nesta afirmação, poderá colocar-se a hipótese de este ser um possível motivo de uma alteração na técnica de nado condutora da diminuição da v .

A FG obtida para G1 ($\sim 0.78 \text{ ciclo.s}^{-1}$), G2 ($\sim 0.90 \text{ ciclo.s}^{-1}$) e G3 ($\sim 0.97 \text{ ciclo.s}^{-1}$) vai de encontro aos resultados reportados por estudos com nadadores de elite masculinos em nado crol a intensidades altas e máximas (Seifert et al., 2005; McCabe et al., 2011; Seifert et al., 2004, Schnitzler et al., 2010; Matsuda et al., 2014). Quanto à DC, os resultados de G1 ($\sim 2.18 \text{ ciclo.m}$) e G2 ($\sim 1.97 \text{ ciclo.m}$), aproximam-se aos encontrados em estudos anteriores com nadadores de elite em nado crol a máxima intensidade (Chollet et al., 2000; Seifert et al., 2005; Schnitzler et al., 2008; McCabe et al., 2011), tendo G3 ($\sim 1.84 \text{ ciclo.m}$) demonstrado valores mais baixos que os reportados pela literatura. Altas FG e baixas DC constituem-se como uma estratégia adotada para a manutenção de uma v alta ao longo do nado e em oposição à maior concentração sanguínea de

lactato (Keskinen & Komi, 1993; Pelayo et al., 1996). O IB demonstrou maior eficiência técnica para G1 que pode ser explicado pela maior DC apresentada, apesar da menor $v_{méd}$. Como deriva do melhor preditor independente da performance (DC) e da v do nadador, o IB não deve ser considerado um preditor independente da técnica, pelo que esta variável deve ser analisada em conjunto com as restantes (Chatard et al., 1990).

Bons nadadores possuem a capacidade em adaptar a sua coordenação entre MS consoante a v enquanto mantêm as viv num valor baixo e estável (Schnitzler et al., 2010), ou seja, a alteração no IdC consiste numa estratégia para manter as viv constantes ao longo do nado em resposta às variações de P e D e independentemente da v adotada (Figueiredo et al., 2012; Schnitzler et al., 2008). Portanto, a estabilidade das viv em diferentes ritmos de nado é considerada um indicador de eficiência técnica (Schnitzler et al., 2008). Assim, o IdC e as viv complementam-se, na medida em que o primeiro caracteriza a distribuição das ações propulsivas pelo tempo, enquanto que a magnitude das viv é a consequência cinemática da distribuição heterogénea da propulsão (Schnitzler et al., 2010).

A coordenação de oposição entre os MS aparente no presente estudo indica uma continuidade das ações propulsivas, que minimiza as acelerações negativas entre as duas propulsões (Fujishima & Miyashita, 1998). Este resultado diverge de outros estudos com $v_{méd}$ e intensidades de esforço idênticas pois nadadores de elite demonstraram coordenação de sobreposição em nado de máxima intensidade (Matsuda et al., 2014; Seifert et al., 2004; Schnitzler et al., 2008). Apesar deste tipo de IdC ser característico de uma melhor eficiência de nado pela vantagem de períodos propulsivos mais longos e em complementaridade à potência oferecida pela ação ascendente (Chatard et al., 1990; Chollet et al., 2000), é possível que os nadadores da presente amostra tenham demonstrado valores baixos de viv devido à manutenção da propulsão ao longo do nado.

Relativamente às fases do ciclo, a duração relativa conjunta da entrada e ação descendente (32-38%) foi maior e da ação ascendente (20-25%) e recuperação (25-27%) idêntica ao que consta na literatura para os três grupos (Chollet et al.,

2000; Seifert et al., 2004; Schnitzler et al., 2008). Entre grupos, G1 demonstrou maior duração significativa da entrada, podendo justificar os ciclos mais longos e menos rápidos. A ação lateral interior (16-19%) foi bastante reduzida relativamente aos resultados reportados na literatura, possivelmente devido a uma inabilidade técnica dos deslocamentos segmentares do nado sprint. As fases propulsivas apresentaram menor duração cíclica do que as não propulsivas como descrito em estudos anteriores para nado em sprint e nadadores de elite, apesar dos valores se aproximarem dos 50%, contrariamente aos do presente estudo (Schnitzler et al, 2008; Schnitzler et al., 2010; McCabe et al., 2011). Ao longo dos 25 m, a tendência da duração destas fases permaneceu estável em todos os grupos, indicando haver consistência.

Sabe-se que a ação de MI não só contribui para o equilíbrio do corpo do nadador na água (Chollet et al., 2000), como também tem um papel na propulsão (particularmente no sprint) pelo aumento da DC (Keskinen e Komi, 1992) e da v em 10% (Deschodt et al., 1999). Adicionalmente, também coopera na coordenação de MS e MI, visto que as seis ações de MI por ciclo são caracterizadoras de um nado rápido (Persyn et al., 1983). Ao longo dos 25 m, os nadadores mantiveram esta sincronização que poderá ter contribuído para a estável coordenação de MS e, conseqüentemente, para uma menor flutuação intra e entre ciclos (Seifert et al., 2005). No G1, as duas primeiras ações ocorreram durante a entrada do MS, a terceira e a quarta durante a ação lateral interior e as últimas duas no final da ação ascendente e na recuperação, respetivamente. Em G2 e G3, cada ação de MI correspondeu a uma fase de nado de MS, tendo as duas últimas ocorrido durante a recuperação, demonstrando que as ações de MI poderão ter contribuído para a estabilidade da coordenação de MS (Seifert et al., 2004).

Da interpretação conjunta da v , Cc_x , Cc_{auto} , viv , FG e DC retira-se que, para o mesmo valor de viv , os nadadores mais rápidos possuem ciclos consecutivos ligeiramente diferentes, além de possuírem menor DC e maior FG, típico de v mais altas, sugerindo que a eficiência poderá residir nos nadadores que mais alteraram a v ao longo do nado. Apesar da análise quantitativa das variáveis não ter mostrado grandes alterações entre ciclos, a análise qualitativa pelo Cc_x e Cc_{auto} demonstrou que as curvas não se encontram totalmente sobrepostas,

possivelmente devido a uma variação progressiva da v , sugerindo que uma mínima alteração do movimento poderá interferir na sua estabilidade, e que essa alteração será potenciada por mais do que a ação conjunta das ações de MS, MI e tronco. Também em estudos da atividade muscular em nadadores de elite (Guignard et al., 2015) e de manipulação do meio envolvente (Guignard & Seifert, 2019) as variações observadas são justificadas por outros fatores relacionados com a dinâmica do movimento.

A performance desportiva é avaliada com base no estudo dos sistemas dinâmicos, com aproximações lineares e não lineares. Um sistema linear é caracterizado pela relação direta entre os determinantes do rendimento e a performance, sendo que as variáveis avaliadas não serão suficientemente sensíveis às variações do comportamento motor (Barbosa et al., 2018). Portanto, para conseguirmos justificar os acontecimentos a 100% poderemos ter de recorrer à aproximação não linear, que defende que o movimento resulta não só de padrões prescritos, mas também dos constrangimentos impostos na ação como os do organismo, ambientais e da tarefa (Newell, 1986). Dois dos parâmetros não lineares são a entropia aproximada e a dimensão fractal que podem quantificar a estrutura temporal da imprevisibilidade das flutuações intercíclicas ao longo de ciclos consecutivos e a complexidade e irregularidade das variações intracíclicas (respetivamente).

Tendo as curvas da v exibido um padrão de acelerações e desacelerações, foi notória a existência de variabilidade individual entre ciclos do mesmo nadador e entre os vários indivíduos constituintes da presente amostra. A capacidade de replicar um padrão específico de movimento consistentemente à medida que a sua automatização aumenta é entendida como expertise (Ericsson et al., 1993). Porém, a variabilidade individual existente sugere que os constrangimentos do organismo são geridos face às diferentes dinâmicas intrínsecas, permitindo haver vários padrões de movimento para responder a um mesmo objetivo (Silva, 2016).

As alterações decorrentes do nado na técnica de crol como o controlo motor, a adoção de coordenação de MS e MI específica, a alteração da duração das fases do ciclo de nado, parecem resultar numa melhor adaptação aos

constrangimentos ambientais (aumento do arrasto com o aumento da v), da tarefa (ritmo imposto, objetivos, instruções, entre outros; Seifert et al., 2007b) e do organismo (e.g. especialidade do nadador, antropometria, sexo). As flutuações de v durante o nado surgirão da variação na magnitude e direção das forças resultantes produzidas durante um ciclo gestual (Psycharakis et al., 2010), tendo elas componentes laterais e verticais que se devem aos movimentos além da linha horizontal à direção de nado e à magnitude da força de impulso (Toussaint et al., 2002).

Assim, um movimento estável (que se sobreponha as distúrbios internos e externos) e flexível (que varie consoante os constrangimentos) é essencial para uma melhor aquisição de habilidades e uma exploração de comportamentos. Por isso, as variações existentes durante o nado podem ser resultado das propriedades não lineares, não existindo um padrão motor ideal que os nadadores devam treinar para adotar, mas padrões funcionais eficientes que emergem da interação dos constrangimentos. Uma estratégia a adotar será trabalhar a dinâmica intrínseca individual no meio aquático com uma abordagem que inclua a adaptação do controlo motor aos constrangimentos que possam interferir com o desempenho do nadador (Silva, 2016).

5. Conclusão

Os resultados obtidos no presente estudo e a sua discussão enalteceram o papel da cinemática e dos parâmetros biomecânicos e coordenativos no comportamento motor do nadador ao longo do nado, permitindo concluir o seguinte:

- i. A cinemática dos ciclos da técnica de crol apresentam duas acelerações positivas referentes às ações de MS e desacelerações nas fases de transição, permitindo verificar a existência de um ciclo típico da v desta técnica alternada.
- ii. As curvas de v não se sobrepõem totalmente, verificando-se inconsistências entre os ciclos individuais e entre os diferentes nadadores.
- iii. A inconsistência obtida dever-se-á à variabilidade individual observada que se caracterizará pela gestão dos constrangimentos do organismo, sugerindo não existir um padrão de v específico a adotar.
- iv. Os nadadores que apresentaram ciclos de v na técnica de crol menos consistentes entre si foram os mais rápidos, sugerindo uma melhor capacidade de adaptação aos constrangimentos do meio aquático.
- v. Apesar das ligeiras variações, as variáveis biomecânicas e coordenativas mantiveram-se entre os ciclos.
- vi. Uma solução para a melhoria do rendimento dos nadadores será o trabalho técnico incisivo na dinâmica intrínseca individual com uma abordagem que inclua a adaptação do controlo motor aos constrangimentos que possam interferir com o desempenho do nadador.

6. Sugestões para estudos futuros

O estudo das variações intracíclicas ao longo do nado fornece evidências da necessidade do trabalho técnico para a evolução da performance do nadador e estudos com este sentido possuem uma grande aplicabilidade. Tendo em conta as falhas e lacunas encontradas no processo de realização da dissertação e com a intenção de as reduzir em estudos futuros, sugere-se:

- i. A divisão da amostra por grupos por clusters de forma a permitir uma interpretação dos dados mais evoluída e completa;
- ii. A análise cinemática a três dimensões para uma interpretação mais avançada;
- iii. A extensão do estudo do movimento contínuo às restantes técnicas de nado;
- iv. A replicação desta avaliação em maiores distâncias de nado, diferenciando nadadores de curtas e longas distâncias, experts e não experts, modalidades da Natação (natação pura, polo aquático, sincronizada e águas abertas) e sexo de modo a verificar diferentes comportamentos;
- v. A investigação do comportamento dos ciclos e a relação com a alternância das fontes de energia e com a influência da fadiga;
- vi. A avaliação do efeito do treino técnico de manipulação de constrangimentos ao longo do processo de treino, seja comparando as diferentes etapas de um macrociclo, seja analisando vários macrociclos que constituam uma época desportiva, para o aumento da adaptabilidade dos nadadores no controlo motor e eficiência durante o nado constrangido;

7. Referências bibliográficas

- Alberty, M., Sidney, M., Huot-Marchand, F., Hespel, J. M., & Pelayo, P. (2005). Intracyclic velocity variations and arm coordination during exhaustive exercise in front crawl stroke. *Int J Sports Med*, 26(6), 471-475.
- Alves, F. (1996). Average resultant impulse per phase in swimming: a tool for technical analysis. In J. Abrantes (Ed.), *Proceedings of the XIV International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 281-284). Lisbon: Faculty of Human Movement.
- Amadio, A. (1996). *Fundamentos biomecânicos para a análise do movimento humano*. São Paulo: Edição da Universidade de São Paulo.
- Barbosa, T. M., Chen, S., Morais, J. E., Costa, M. J., & Batalha, N. (2018). The changes in classical and nonlinear parameters after a maximal bout to elicit fatigue in competitive swimming. *Hum Mov Sci*, 58, 321-329.
- Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V. M., Marinho, D. A., Carvalho, C., & Silva, A. J. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. *J Sci Med Sport*, 13(2), 262-269.
- Barbosa, T. M., Lima, F., Portela, A., Novais, D., Machado, L., Colaco, P., Goncalves, R. F., Keskinen, K. L., & Vilas-Boas, J. P. (2006). Relationships between energy cost, swimming velocity and speed fluctuation in competitive swimming strokes. *Biomechanics and Medicine in Swimming X*, 6(Suppl2), 192-194.
- Barbosa, T. M., Keskinen, K. L., Fernandes, R., Colaco, P., Lima, A. B., & Vilas-Boas, J. P. (2005). Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke. *Eur J Appl Physiol*, 93(5-6), 519-523.

- Barbosa, T. M., Morouco, P. G., Jesus, S., Feitosa, W. G., Costa, M. J., Marinho, D. A., Silva, A. J., & Garrido, N. D. (2013). The interaction between intra-cyclic variation of the velocity and mean swimming velocity in young competitive swimmers. *Int J Sports Med*, 34(2), 123-130.
- Brown, D. (1971). Close-range camera calibration. *Photogrammetric Engineering*, 37(8), 855-866.
- Carmigniani, R., Seifert, L., Didier, C., & Clanet, C. (2019). *Gait transition in swimming*.
- Chatard, J. C., Collomp, C., Maglischo, E., & Maglischo, C. (1990). Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *Int J Sports Med*, 11(2), 156-161.
- Chollet, C., Seifert, L., & Chollet, D. (2009). Effect of force symmetry on coordination in crawl. *International journal of sports medicine*, 30(03), 182-187.
- Chollet, D., Chalies, S., & Chatard, J. C. (2000). A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. *Int J Sports Med*, 21(1), 54-59.
- Chollet, D., Pelayo, P., Delaplace, C., Tourny, C., & Sidney, M. (1997). Stroking characteristic variations in the 100-M freestyle for male swimmers of differing skill. *Percept Mot Skills*, 85(1), 167-177.
- Costill, D., Lee, G., & D'Acquisto, L. J. (1987). Video-computer assisted analysis of swimming technique. *Journal of Swimming Research*, 3(2), 5-9.
- Costill, D. L., Kowaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R., & King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med*, 6(5), 266-270.

- Couto, J. G. M. d., Franken, M., & Castro, F. A. d. S. (2015). Influence of different breathing patterns on front crawl kinematics. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 17, 82-90.
- Craig, A. B., Jr., & Pendergast, D. R. (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Med Sci Sports*, 11(3), 278-283.
- Craig, A. B., Jr., Skehan, P. L., Pawelczyk, J. A., & Boomer, W. L. (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Med Sci Sports Exerc*, 17(6), 625-634.
- Deschodt, V. J., Arsac, L. M., & Rouard, A. H. (1999). Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 80(3), 192-199.
- Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [em linha], 2008-2019.
- Ericsson, K., Krampe, R., & Tesch-Roemer, C. (1993). The Role of Deliberate Practice in the Acquisition of Expert Performance. *Psychological Review*, 100, 363-406.
- Fernandes, R., Aleixo, I. M., Soares, S., & Vilas Boas Soares Campos, J. (2008). Anaerobic critical velocity: A new tool for young swimmers training advice. In *Physical Activity and Children: New Research* (pp. 211-223).
- Fernandes, R., Figueiredo, P., Vilar, S., Sousa, A., Gonçalves, P., & Vilas-Boas, J. P. (2010). Avaliação da atividade elétrica muscular em natação. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 10(3), 121-141.
- Fernandes, R. J. (2015). Breve descrição sobre os fatores determinantes do rendimento desportivo em natação. In *Documento de apoio à unidade curricular Metodologia do Desporto I – Treino Desportivo – Natação do 1º ciclo em Ciências do Desporto*. FADEUP, Porto.

- Fernandes, R. J., Ribeiro, J., Figueiredo, P., Seifert, L., & Vilas-Boas, J. P. (2012). Kinematics of the hip and body center of mass in front crawl. *J Hum Kinet*, 33, 15-23.
- Figueiredo, P., Kjendlie, P. L., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2012). Intracycle velocity variation of the body centre of mass in front crawl. *Int J Sports Med*, 33(4), 285-290.
- Figueiredo, P., Morales, E. G., Pereira, S. M., Goncalves, P., Arellano, R., Seifert, L., Chollet, D., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2008). *Intracyclic speed fluctuations of the center of mass and its relationship with the index of coordination - a pilot study*. Comunicação apresentada em 26th International Conference on Biomechanics in Sports, Seoul, Korea.
- Figueiredo, P., Vilas Boas, J. P., Maia, J., Goncalves, P., & Fernandes, R. J. (2009). Does the hip reflect the centre of mass swimming kinematics? *Int J Sports Med*, 30(11), 779-781.
- Gourgoulis, V., Koulexidis, S., Gketzenis, P., & Tzouras, G. (2018). Intracyclic Velocity Variation of the Center of Mass and Hip in Breaststroke Swimming With Maximal Intensity. *J Strength Cond Res*, 32(3), 830-840.
- Guignard, B., & Seifert, L. (2019). *Inter-cyclic movement variability of complex systems: an investigation in human swimming*. Conference: XTerM2019: systèmes complexes, intelligence Territoriale et Mobilité. At: Le Havre, France
- Guignard, B., Olstad, B. H., Simbana Escobar, D., Lauer, J., Kjendlie, P. L., & Rouard, A. H. (2015). Different Muscle-Recruitment Strategies Among Elite Breaststrokers. *Int J Sports Physiol Perform*, 10(8), 1061-1065.
- Heikkila, J., & Silven, O. (1997, 17-19 June 1997). *A four-step camera calibration procedure with implicit image correction*. Comunicação apresentada em Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.

- Holmer, I. (1979). Analysis of acceleration as a measure of swimming proficiency. *Swimming III. Proceedings of the Third International Symposium of Biomechanics in Swimming* (pp. 118-124).
- Karpovich, P. V. (1930). *Scientific American*. March, 224-225.
- Karpovich, P. V., & Karpovich, G. P. (1970). Magnetic tape natograph. *Res Q*, 41(1), 119-122.
- Keskinen, K. L., & Komi, P. V. (1993). Stroking Characteristics of Front Crawl Swimming during Exercise. *Journal of Applied Biomechanics*, 9(3), 219.
- Kjendlie, P.-L., Haljand, R., Fjortoft, O., & Stallman, R. (2006). Stroke frequency strategies of international and national swimmers in 100m races. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6 (Suppl. 2), 52-54.
- Leblanc, H., Seifert, L., Tourny-Chollet, C., & Chollet, D. (2007). Intra-cyclic distance per stroke phase, velocity fluctuations and acceleration time ratio of a breastroker's hip: a comparison between elite and nonelite swimmers at different race paces. *Int J Sports Med*, 28(2), 140-147.
- Lima, A., Semblano, P., Fernandes, D., Gonçalves, P., Morouço, P., Sousa, F., Fernandes, R., Barbosa, M., Correia, M., Tani, G., & Vilas-Boas, J. P. (2006). A kinematical, imagiological and acoustical biofeedback system for the technical training in breaststroke swimming. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6, 21-23.
- Maglischo, C. W., Maglischo, E. W., & Santos, T. R. (1987). The relationship between the forward velocity of the centre of gravity and the hip in the four competitive strokes. *Journal of Swimming Research*, 3, 11-17.
- Maglischo, E. (2003). *Swimming Fastest*. Champaign, IL: Human Kinetics.

- Manley, P., & Atha, J. (1992). Intra-stroke velocity fluctuations in paced breaststroke swimming. *Biomechanics and Medicine in Swimming. Swimming Science VI*, 151-160.
- Mardia, K. V. (1975). Statistics of directional data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 37(3), 349-371.
- Matsuda, Y., Yamada, Y., Ikuta, Y., Nomura, T., & Oda, S. (2014). Intracyclic velocity variation and arm coordination for different skilled swimmers in the front crawl. *Journal of human kinetics*, 44, 67-74.
- McCabe, C. B., Psycharakis, S., & Sanders, R. (2011). Kinematic differences between front crawl sprint and distance swimmers at sprint pace. *J Sports Sci*, 29(2), 115-123.
- Miyashita, M. (1971). An analysis of fluctuations of swimming speed. In: L. Lewillie and J. P. Clarys (eds.). *First International Symposium on Biomechanics in Swimming* (pp. 53-58). Universite Libre de Bruxelles, Brussels.
- Miller, D. I. (1975). Biomechanics of Swimming. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 3(1), 219-248.
- Morouço, P., Lima, A. B., Semblano, P., Fernandes, D., Goncalves, P., Sousa, F., Fernandes, R., Barbosa, T., Correia, M. V., & Vilas-Boas, J. P. (2006). Validation of cable speedometer for butterfly evaluation. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6 (Suppl2), 236-239.
- Morouço, P., Ribeiro, J., Zacca, R., Chainok, P., Ramos, V., Fernandes, R., & Abraldes, J. A. (2015). Interação entre a variação intracíclica da velocidade de nado em nadadores masters. In M. V. R. B. Ruben, C. Campos, H. A. Almeida, J. Siopa, P. Bártolo, J. Folgado (Ed.), *Proceedings of the 6th Portuguese Congress on Biomechanics* (pp. 125-126). Monte Real, Leiria, Portugal.

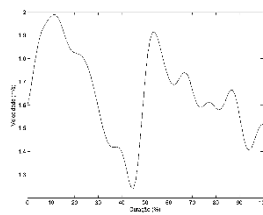
- Newell, K. M. (1986). Constraints on the Development of Coordination. In M. G. Wade & H. T. A. Whiting (Eds.), *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and Control* (pp. 341-360): The Netherlands: Martinus Nijhoff, Dordrecht.
- Payton, C., & Wilcox, C. (2006). Intra-cyclic speed fluctuations of uni-lateral arm amputee front crawl swimmers *Biomechanics and Medicine in Swimming X*, 6(Suppl2), pp. 73-75.
- Pelayo, P., Sidney, M., Kherif, T., Chollet, D., & Tourny, C. (1996). Stroking Characteristics in Freestyle Swimming and Relationships with Anthropometric Characteristics. *12*(2), 197.
- Persyn, U., Daly, D., Vervaecke, H., Van Tilborgh, L., & Verhetsel, D. (1983). *Profiles of Competitors Using Different Patterns in Front Crawl Events* (Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers, 1983. - S. 323 - 328: Tab., 16 Lit. ed.). Champaign: Human Kinetics.
- Psycharakis, S. G., Naemi, R., Connaboy, C., McCabe, C., & Sanders, R. H. (2010). Three-dimensional analysis of intracycle velocity fluctuations in frontcrawl swimming. *Scand J Med Sci Sports*, *20*(1), 128-135.
- Psycharakis, S. G., & Sanders, R. H. (2009). Validity of the use of a fixed point for intracycle velocity calculations in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *12*(2), 262-265.
- Schleihauf, R. (1983). 3D computer stroke analysis. *Swim Tech* (Aug-Oct), 20-25.
- Schnitzler, C., Seifert, L., Alberty, M., & Chollet, D. (2010). Hip velocity and arm coordination in front crawl swimming. *Int J Sports Med*, *31*(12), 875-881.
- Schnitzler, C., Seifert, L., Ernwein, V., & Chollet, D. (2008). Arm coordination adaptations assessment in swimming. *Int J Sports Med*, *29*(6), 480-486.

- Seifert, L., Chehensse, A., Tourny-Chollet, C., Lemaitre, F., & Chollet, D. (2008). Effect of Breathing Pattern on Arm Coordination Symmetry in Front Crawl. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(5), 1670-1676.
- Seifert, L., Chollet, D., & Allard, P. (2005). Arm coordination symmetry and breathing effect in front crawl. *Human Movement Science*, 24(2), 234-256.
- Seifert, L., Chollet, D., & Bardy, B. G. (2004). Effect of swimming velocity on arm coordination in the front crawl: a dynamic analysis. *J Sports Sci*, 22(7), 651-660.
- Seifert, L., Chollet, D., & Chatard, J. C. (2007a). Kinematic changes during a 100-m front crawl: effects of performance level and gender. *Med Sci Sports Exerc*, 39(10), 1784-1793.
- Seifert, L., Chollet, D., & Rouard, A. (2007b). Swimming constraints and arm coordination. *Hum Mov Sci*, 26(1), 68-86.
- Seifert, L., Komar, J., Barbosa, T., Toussaint, H., Millet, G., & Davids, K. (2014). Coordination pattern variability provides functional adaptations to constraints in swimming performance. *Sports Med*, 44(10), 1333-1345.
- Silva, A. F. (2016). Integrated analysis of the inter-arm coordination in aquatic locomotion. Doctoral Thesis in Sport Sciences. Centre of Research, Education, Innovation and Intervention in Sport. Faculty of Sport. University of Porto.
- Silva, A. F., Figueiredo, P., Ribeiro, J., Alves, F., Vilas-Boas, J. P., Seifert, L., & Fernandes, R. J. (2019). Integrated Analysis of Young Swimmers' Sprint Performance. *Motor Control*, 23(3), 354-364.
- Soares, S., Lima, A.B., Santos, I., Machado, L., Fernandes, R., Correia, M.V., Maia, J. & Vilas-Boas, J.P. (2006). Velocimetric characterization of a 30 sec maximal test in swimming: consequences for bioenergetical evaluation. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6(2), 265-268

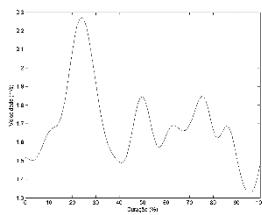
- Stergiou, N. (2004). *Innovative analyses of human movement*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Stergiou, N., Yu, Y., & Kyvelidou, A. (2013). A Perspective on Human Movement Variability With Applications in Infancy Motor Development Theoretical Perspectives Explaining Human Movement Variability. *Kinesiology Review*, 2, 93-102.
- Toussaint, H. M., Van den Berg, C., & Beek, W. J. (2002). "Pumped-up propulsion" during front crawl swimming. *Med Sci Sports Exerc*, 34(2), 314-319.
- Vilas-Boas, J. P. (1986). Bases mecânicas da natação. In *Documento de apoio à unidade curricular Estudos Práticos I – Natação – 1º ano do 1º ciclo em Ciências do Desporto*. FADEUP, Porto.
- Vilas-Boas, J. P. (1996). Speed fluctuations and energy cost of different breaststroke techniques. *Biomechanics and Medicine in Swimming VII*, 167-171.
- Vilas-Boas, J. P., Barbosa, T. M., & Fernandes, R. (2010). Speed fluctuation, swimming economy, performance and training in swimming. *World Book of Swimming: From Science to Performance*, 119-134.
- Vilas-Boas, J. P., Fernandes, R., & Barbosa, T. M. (2011). Intra-cycle velocity variations, swimming economy, performance, and training in swimming. In *The world book of swimming: from science to performance* (pp. 119-134). New York, NY: Nova Science Publishers, Hauppauge.
- Weir, J. P. (2005). Quantifying test-retest reliability using intraclass correlation coefficient and the SEM. *J Strength Cond Res*, 19(1), 231-240 .

Anexos

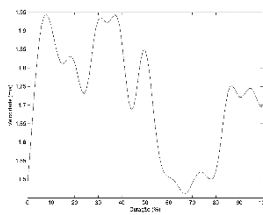
Nadador 1



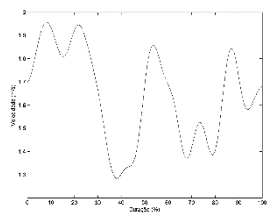
Ciclo 1



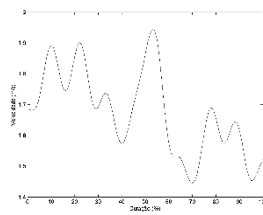
Ciclo 2



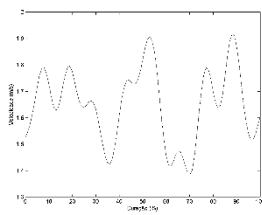
Ciclo 3



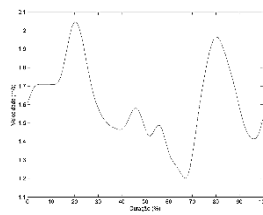
Ciclo 4



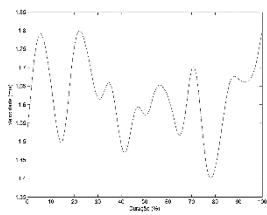
Ciclo 5



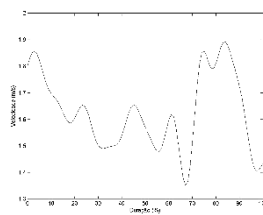
Ciclo 6



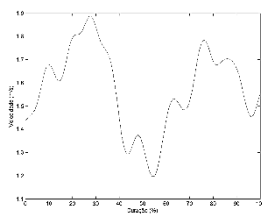
Ciclo 7



Ciclo 8

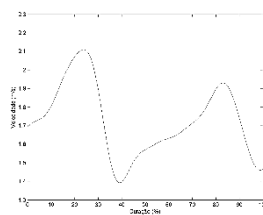


Ciclo 9

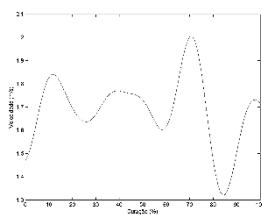


Ciclo 10

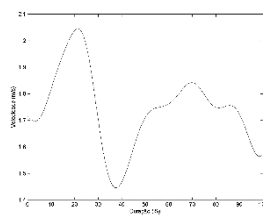
Nadador 2



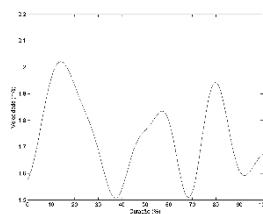
Ciclo 1



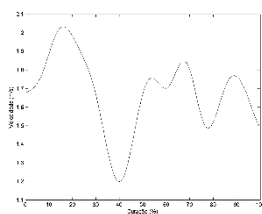
Ciclo 2



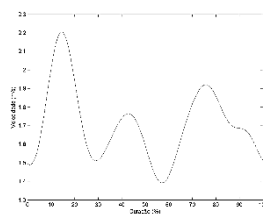
Ciclo 3



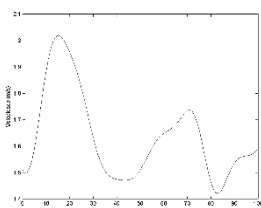
Ciclo 4



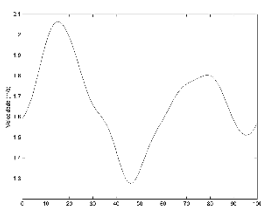
Ciclo 5



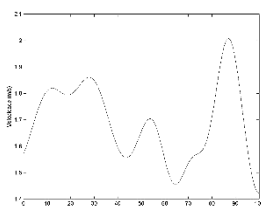
Ciclo 6



Ciclo 7

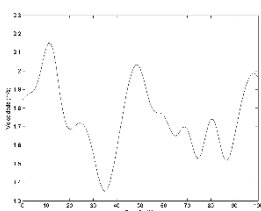


Ciclo 8

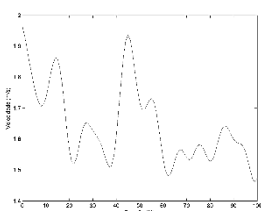


Ciclo 9

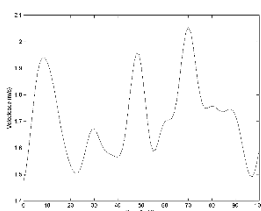
Nadador 3



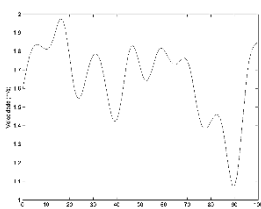
Ciclo 1



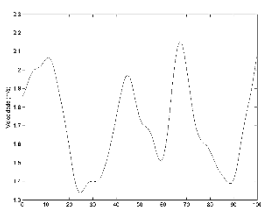
Ciclo 2



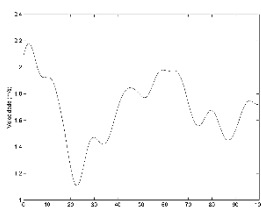
Ciclo 3



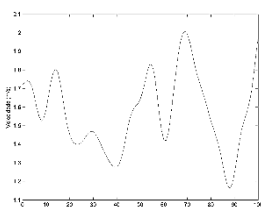
Ciclo 4



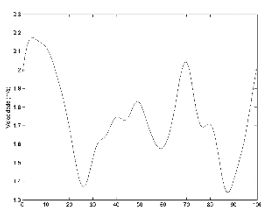
Ciclo 5



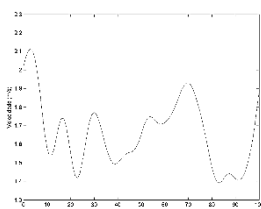
Ciclo 6



Ciclo 7

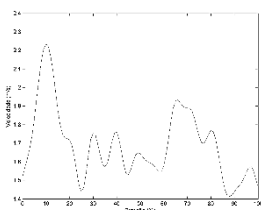


Ciclo 8

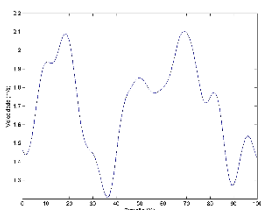


Ciclo 9

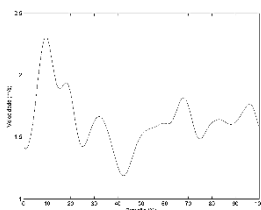
Nadador 4



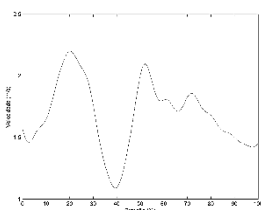
Ciclo 1



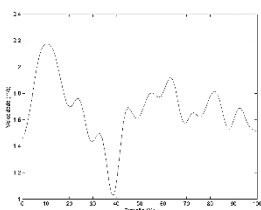
Ciclo 2



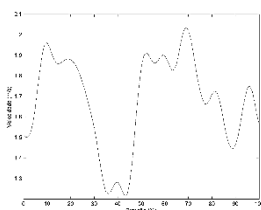
Ciclo 3



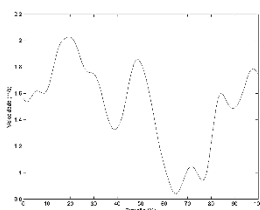
Ciclo 4



Ciclo 5

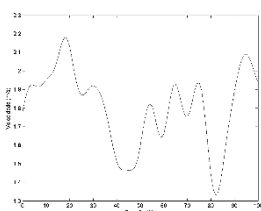


Ciclo 6

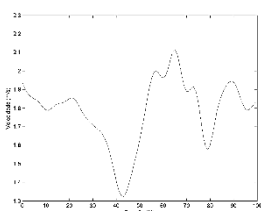


Ciclo 7

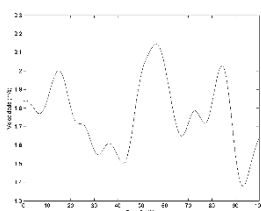
Nadador 5



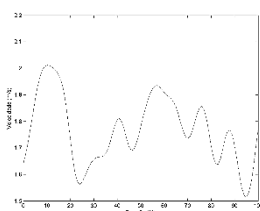
Ciclo 1



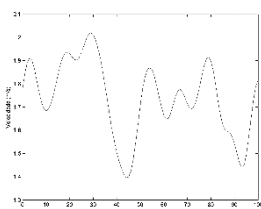
Ciclo 2



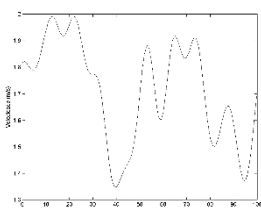
Ciclo 3



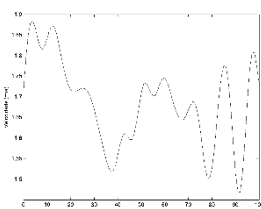
Ciclo 4



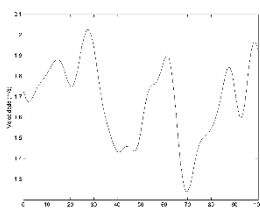
Ciclo 5



Ciclo 6

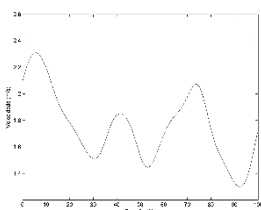


Ciclo 7

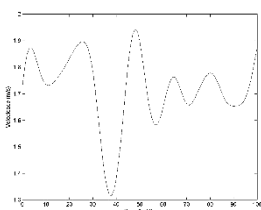


Ciclo 8

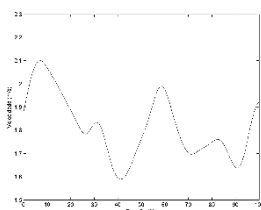
Nadador 6



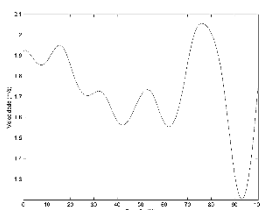
Ciclo 1



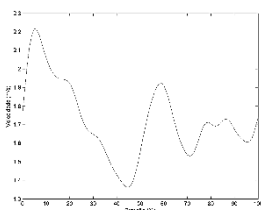
Ciclo 2



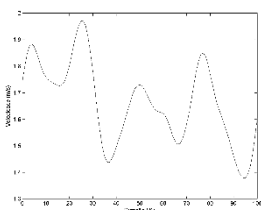
Ciclo 3



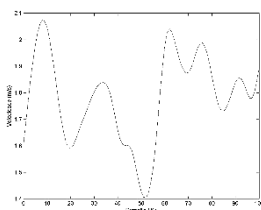
Ciclo 4



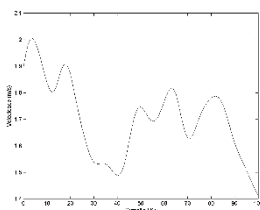
Ciclo 5



Ciclo 6

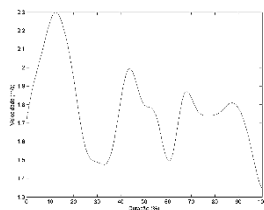


Ciclo 7

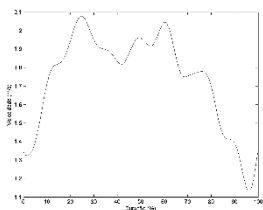


Ciclo 8

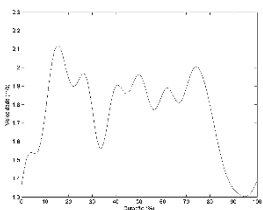
Nadador 7



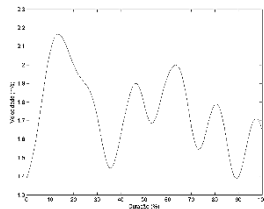
Ciclo 1



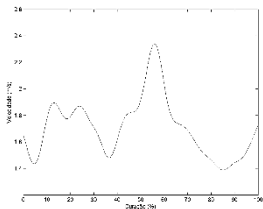
Ciclo 2



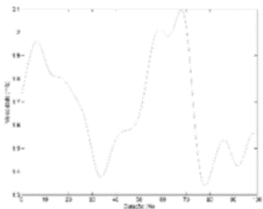
Ciclo 3



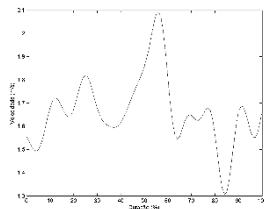
Ciclo 4



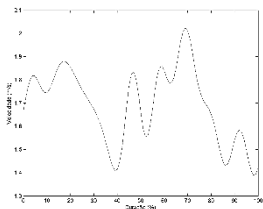
Ciclo 5



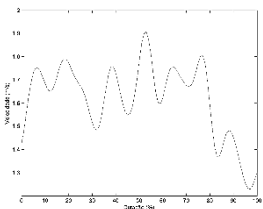
Ciclo 6



Ciclo 7

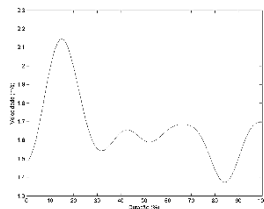


Ciclo 8

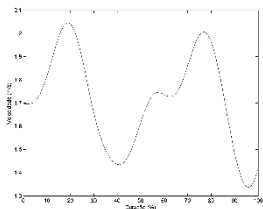


Ciclo 9

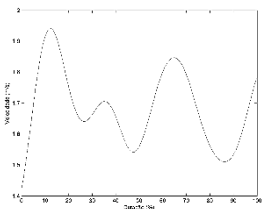
Nadador 8



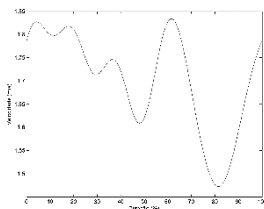
Ciclo 1



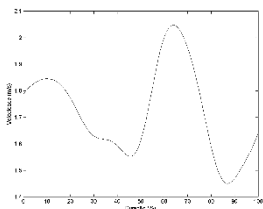
Ciclo 2



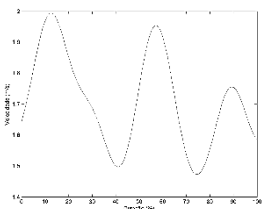
Ciclo 3



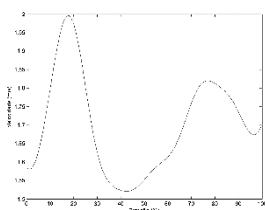
Ciclo 4



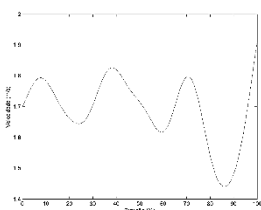
Ciclo 5



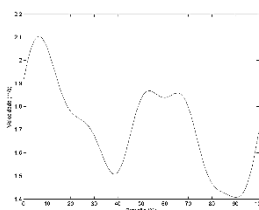
Ciclo 6



Ciclo 7

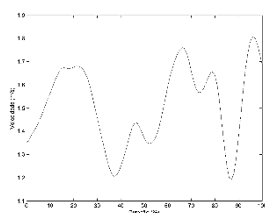


Ciclo 8

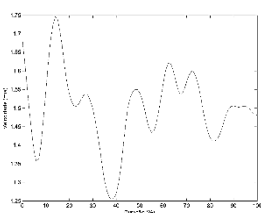


Ciclo 9

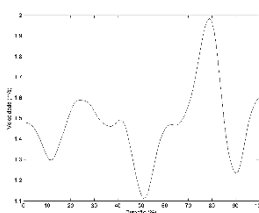
Nadador 9



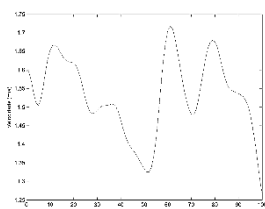
Ciclo 1



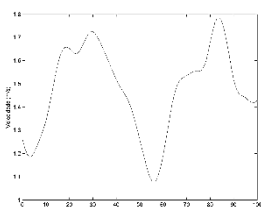
Ciclo 2



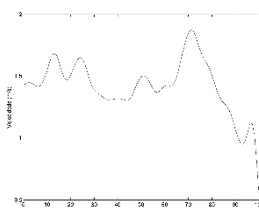
Ciclo 3



Ciclo 4

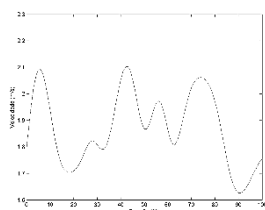


Ciclo 5

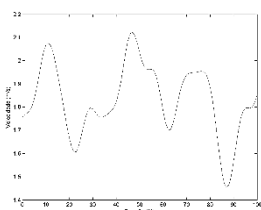


Ciclo 6

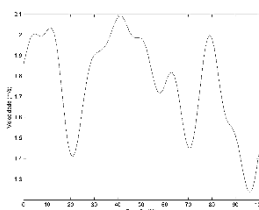
Nadador 10



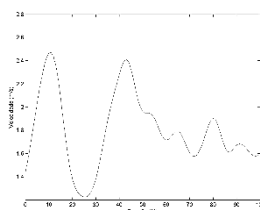
Ciclo 1



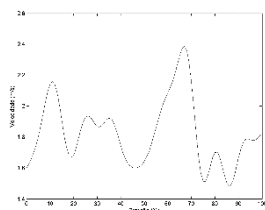
Ciclo 2



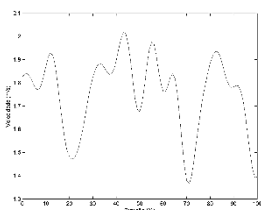
Ciclo 3



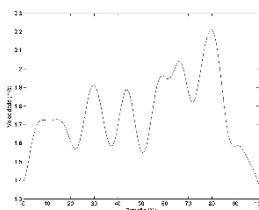
Ciclo 4



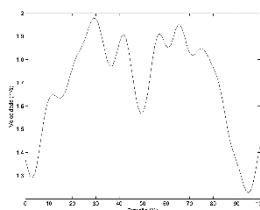
Ciclo 5



Ciclo 6

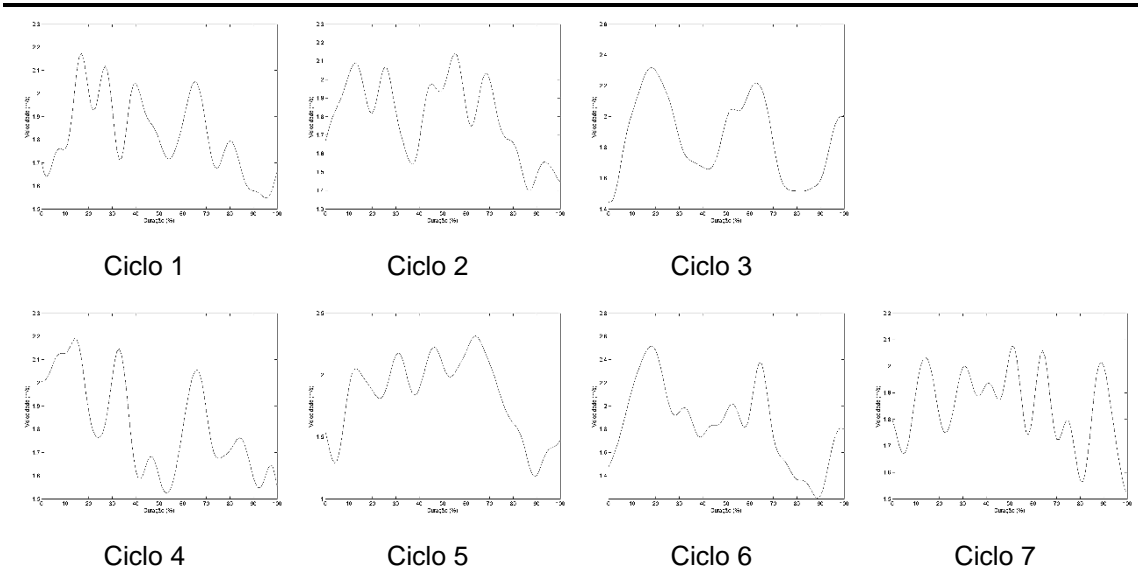


Ciclo 7

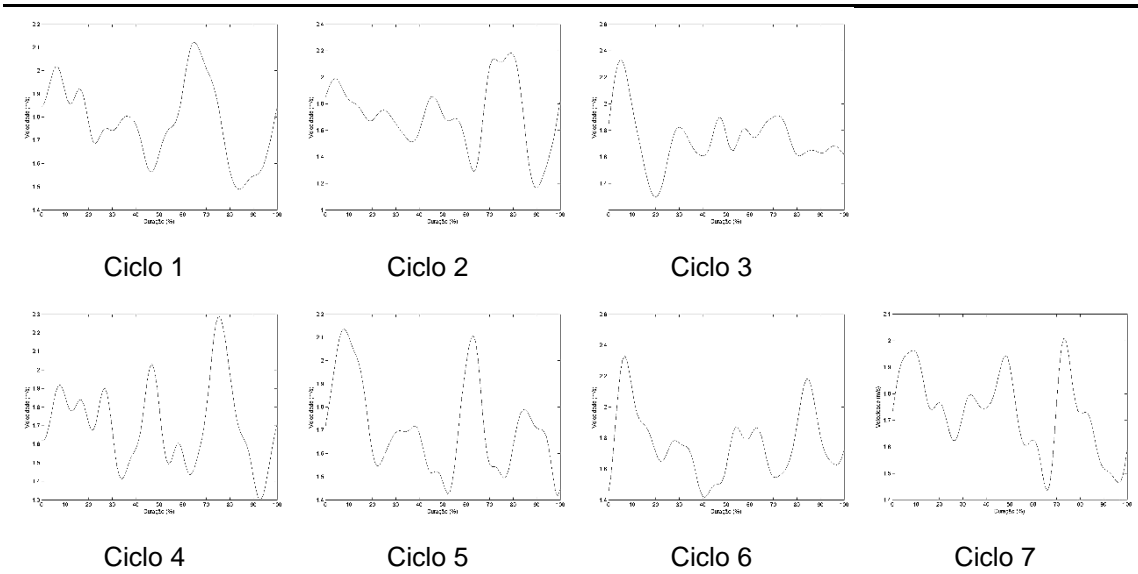


Ciclo 8

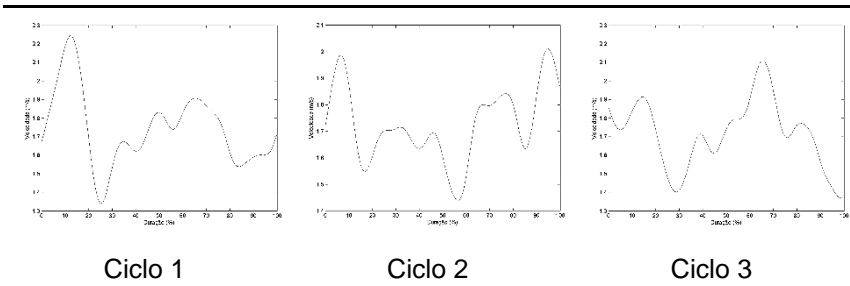
Nadador 11

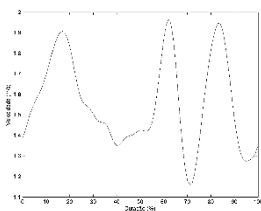


Nadador 12

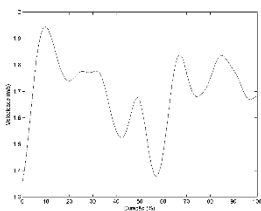


Nadador 13

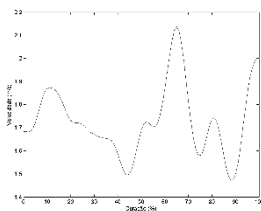




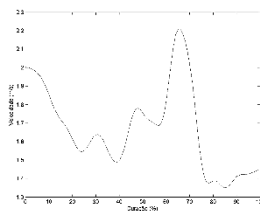
Ciclo 4



Ciclo 5

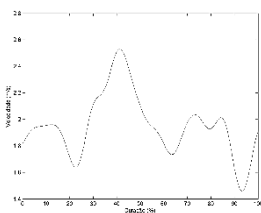


Ciclo 6

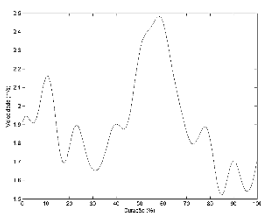


Ciclo 7

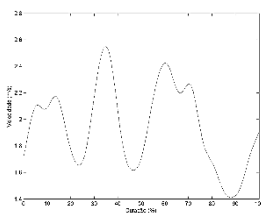
Nadador 14



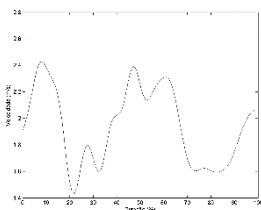
Ciclo 1



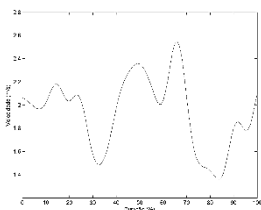
Ciclo 2



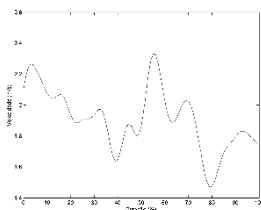
Ciclo 3



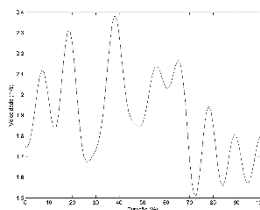
Ciclo 4



Ciclo 5

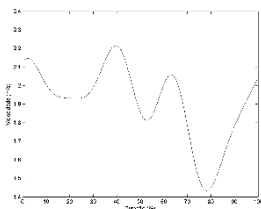


Ciclo 6

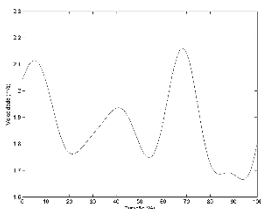


Ciclo 7

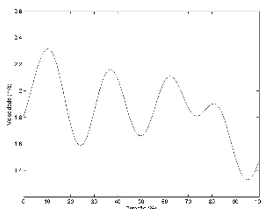
Nadador 15



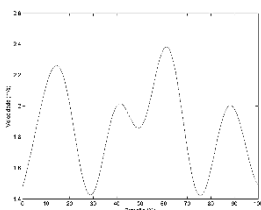
Ciclo 1



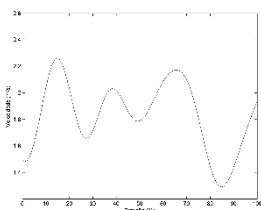
Ciclo 2



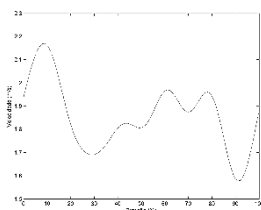
Ciclo 3



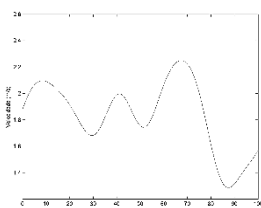
Ciclo 4



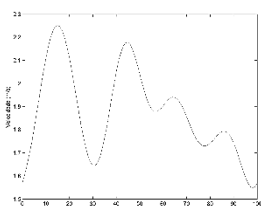
Ciclo 5



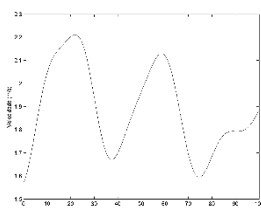
Ciclo 6



Ciclo 7

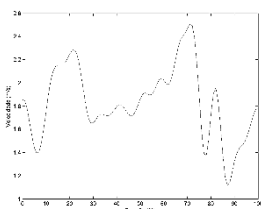


Ciclo 8

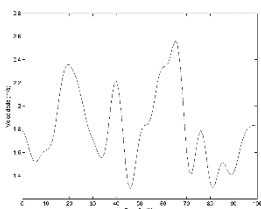


Ciclo 9

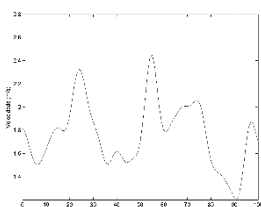
Nadador 16



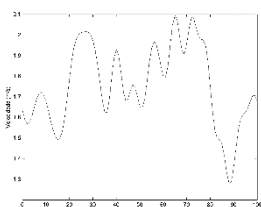
Ciclo 1



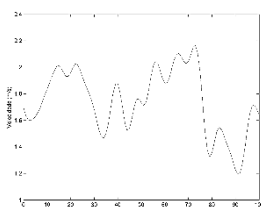
Ciclo 2



Ciclo 3

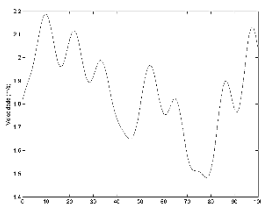


Ciclo 4

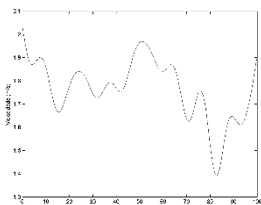


Ciclo 5

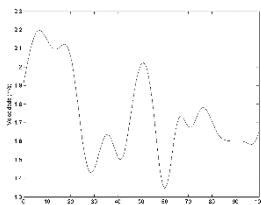
Nadador 17



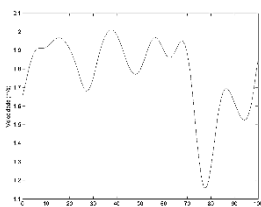
Ciclo 1



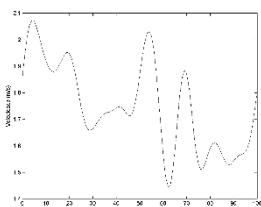
Ciclo 2



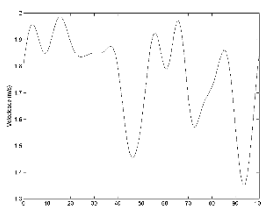
Ciclo 3



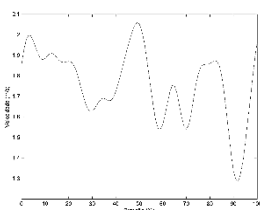
Ciclo 4



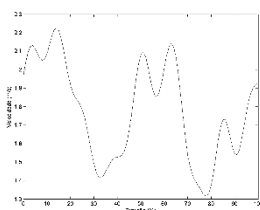
Ciclo 5



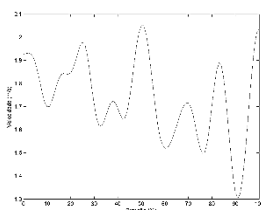
Ciclo 6



Ciclo 7

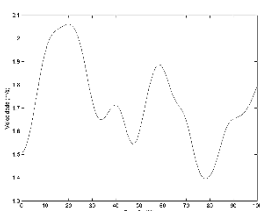


Ciclo 8

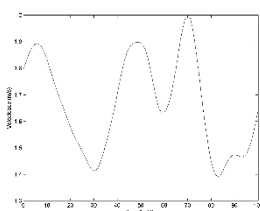


Ciclo 9

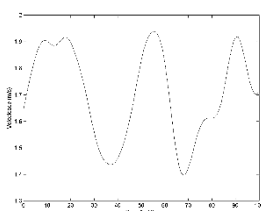
Nadador 18



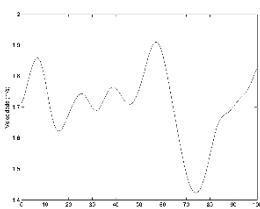
Ciclo 1



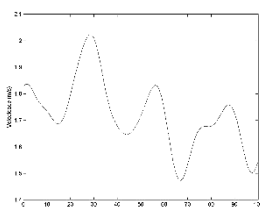
Ciclo 2



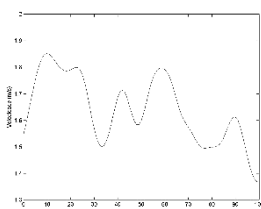
Ciclo 3



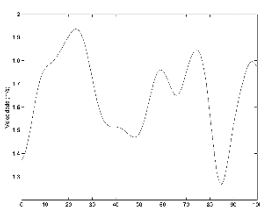
Ciclo 4



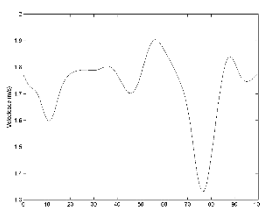
Ciclo 5



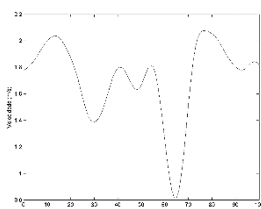
Ciclo 6



Ciclo 7

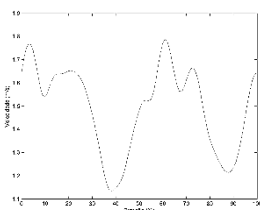


Ciclo 8

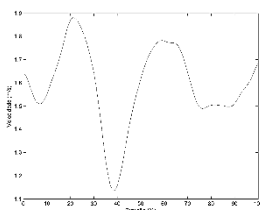


Ciclo 9

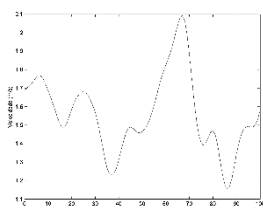
Nadador 19



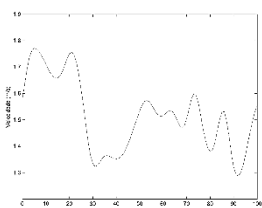
Ciclo 1



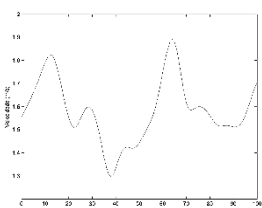
Ciclo 2



Ciclo 3

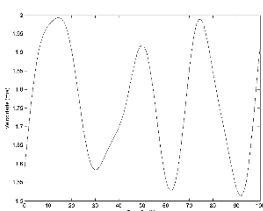


Ciclo 4

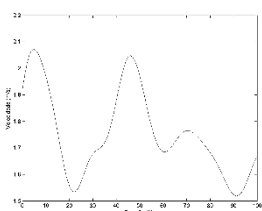


Ciclo 5

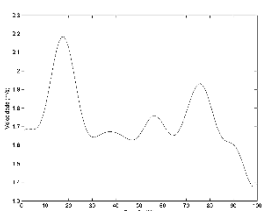
Nadador 20



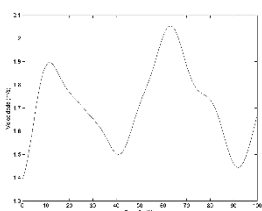
Ciclo 1



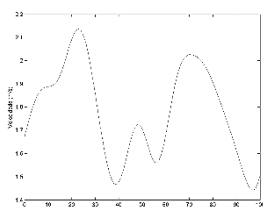
Ciclo 2



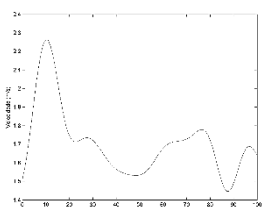
Ciclo 3



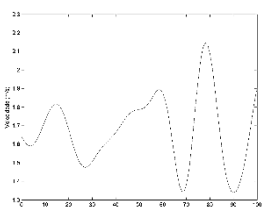
Ciclo 4



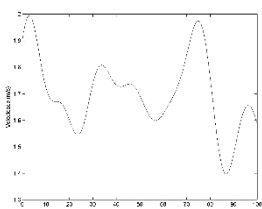
Ciclo 5



Ciclo 6

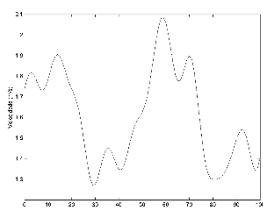


Ciclo 7

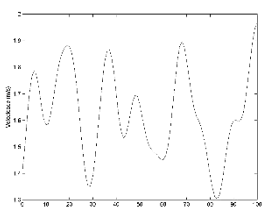


Ciclo 8

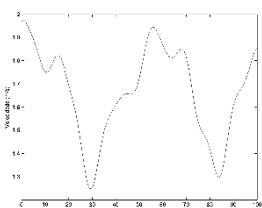
Nadador 21



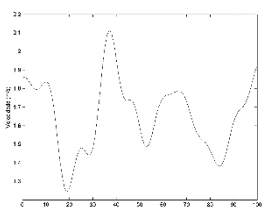
Ciclo 1



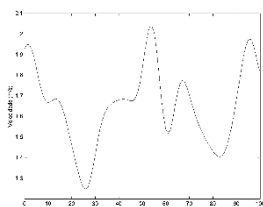
Ciclo 2



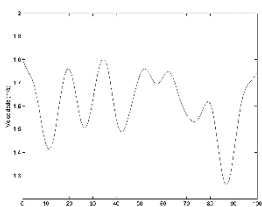
Ciclo 3



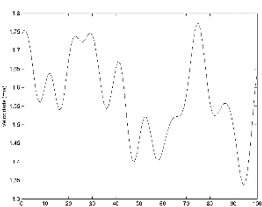
Ciclo 4



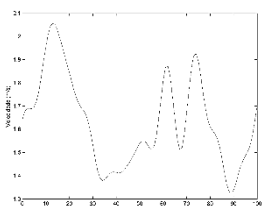
Ciclo 5



Ciclo 6

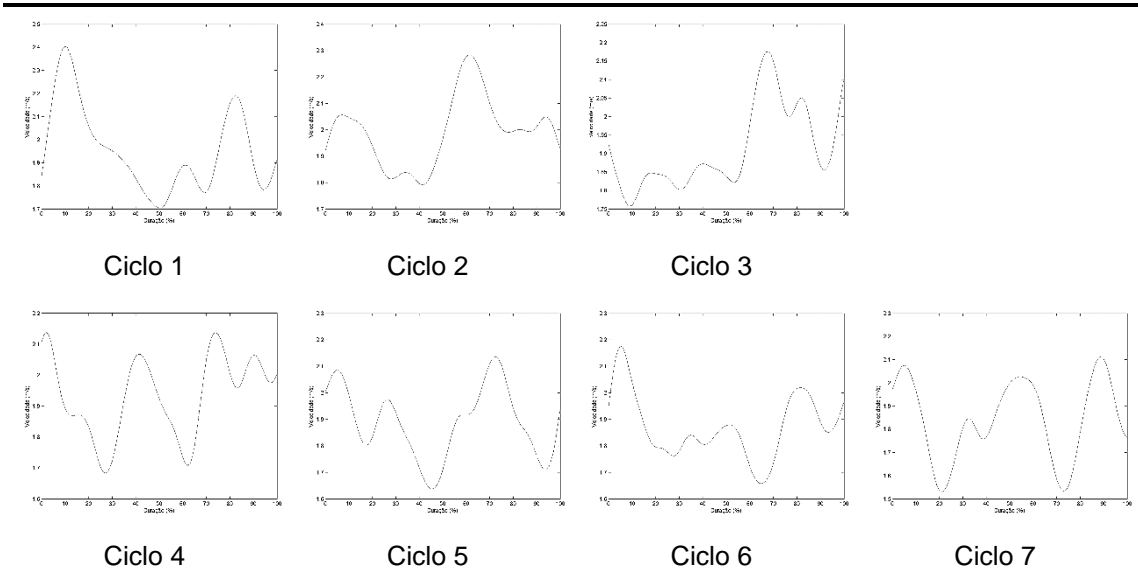


Ciclo 7

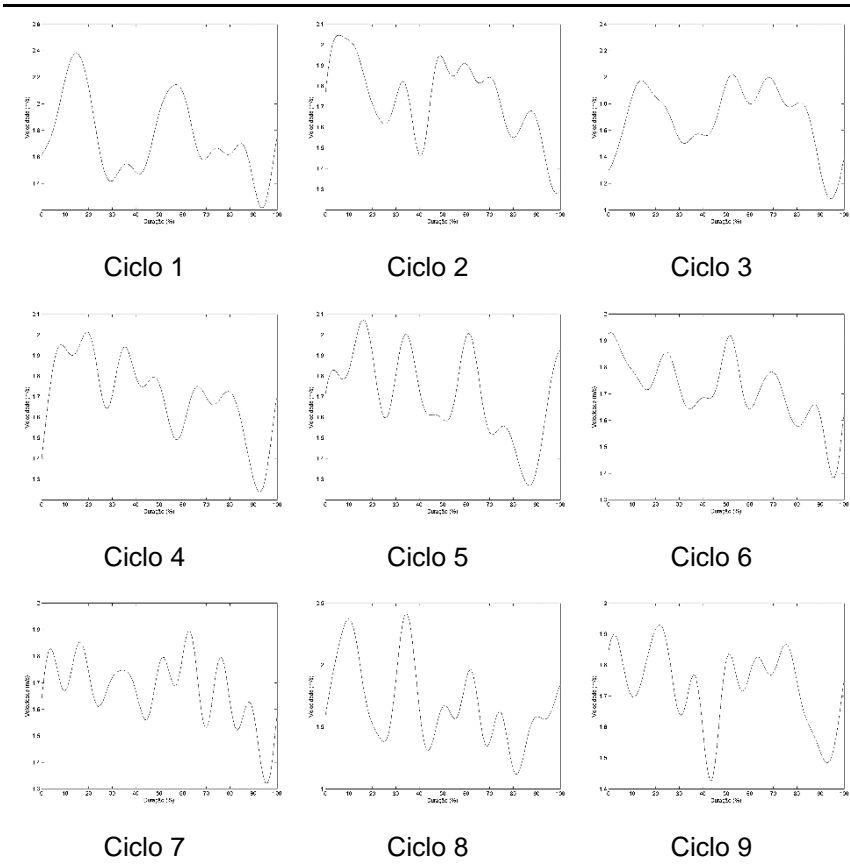


Ciclo 8

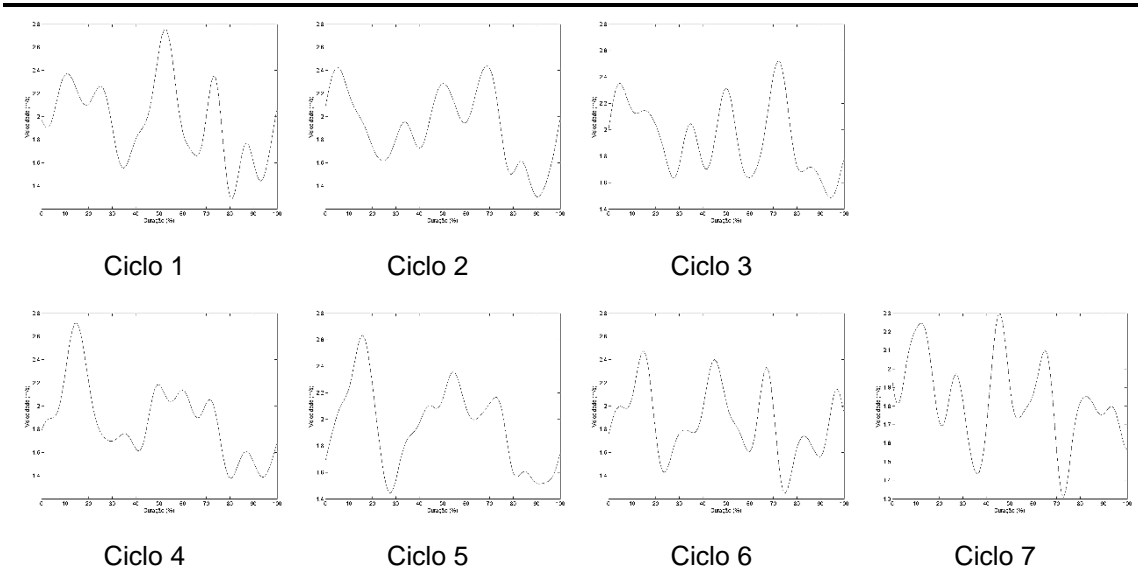
Nadador 22



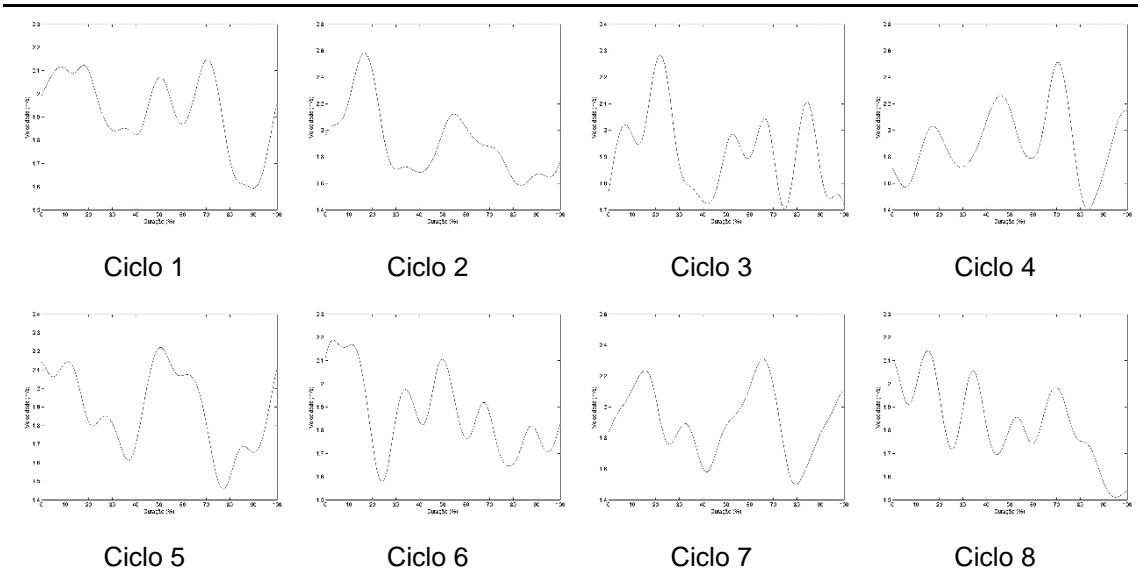
Nadador 23



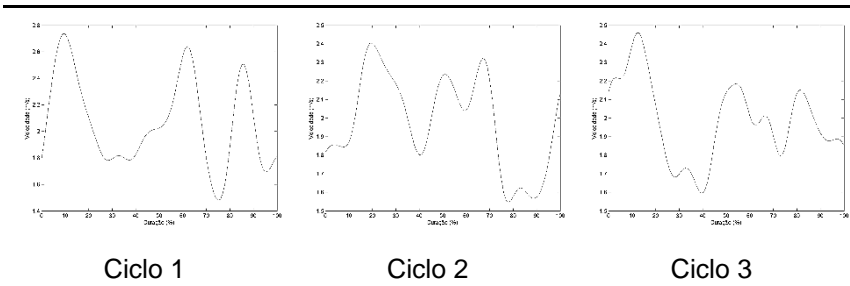
Nadador 24

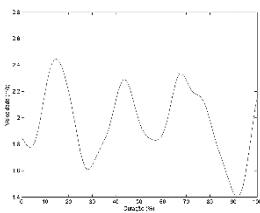


Nadador 25

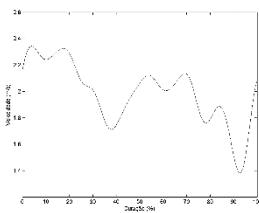


Nadador 26

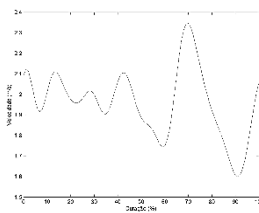




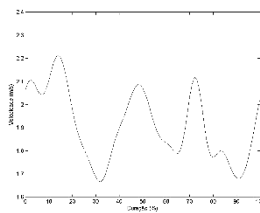
Ciclo 4



Ciclo 5

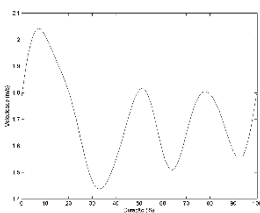


Ciclo 6

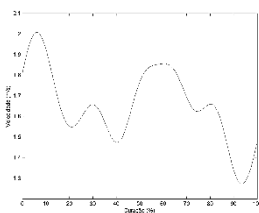


Ciclo 7

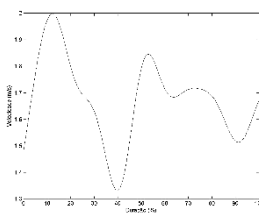
Nadador 27



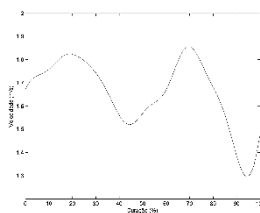
Ciclo 1



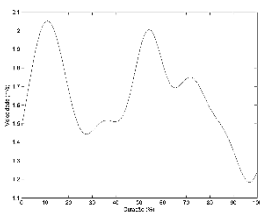
Ciclo 2



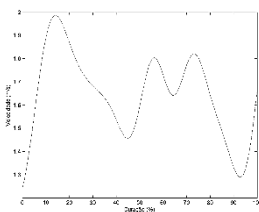
Ciclo 3



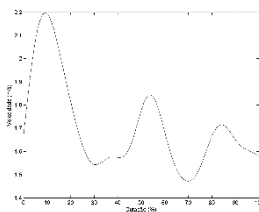
Ciclo 4



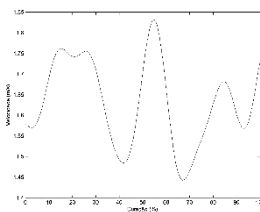
Ciclo 5



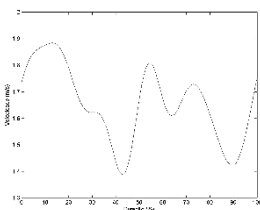
Ciclo 6



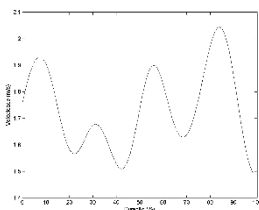
Ciclo 7



Ciclo 8



Ciclo 9



Ciclo 10